

T6023/65

Prof. Dr. W. DE BREUCK

HYDROGEOLOGISCHE, BODEMKUNDIGE EN EKOLOGISCHE STUDIE VAN "DE KALMTHOUTSE HEIDE" EN DE OMLIGGENDE LANDBOUWGRONDEN

Rijksuniversiteit Gent - Universitaire Instelling Antwerpen

HYDROGEOLOGISCHE STUDIE

Tekst

Leerstoel voor Toegepaste Geologie

Rijksuniversiteit Gent

1981

RIJKSUNIVERSITEIT GENT
FAKULTEIT VAN DE WETENSCHAPPEN
LEERSTOEL VOOR TOEGEPASTE GEOLOGIE

HYDROGEOLOGISCHE STUDIE VAN "DE KALMTHOUTSE HEIDE"
EN DE OMLIGGENDE LANDBOUWGRONDEN

Tekst

Opdrachtgever
De Vlaamse Gemeenschap

Opdrachthouder
Interkommunale Grondbeleid en Expansie Antwerpen (IGEAN)

Studie en verslag
Lic. E. VAN DYCK
Dr. L. LEBBE

Leiding
Prof. Dr. W. DE BREUCK

INHOUD

1. INLEIDING	1
2. SITUERING	4
3. FYSIOGRAFIE	5
3.1. Topografie	5
3.2. Hydrografie	5
4. GEOLOGIE	7
4.1. De oude formaties	7
4.2. De aangeboorde formaties	7
4.2.1. Formatie van Berchem (Midden-Mioceen)...	7
4.2.2. Formatie van Diest (Boven-Mioceen)	8
4.2.3. Formatie van Kattendijk (Onder-Plioceen)	8
4.2.4. Formatie van Lillo (Boven-Plioceen).....	8
4.2.5. Formatie van Merksplas (Onder-Pleistoceen)	9
4.2.6. Formatie van de Kempen (Onder-Pleistoceen)	9
4.2.7. Dek- en stuifzanden (Boven-Pleistoceen).	10
5. BORINGEN	11
5.1. Boringen van 10 m diepte	11
5.2. Boringen van 30 m diepte	12
5.3. Boringen tot grote diepte	13
5.4. Resultaten	20
5.4.1. Litostratigrafische profielen	20
5.4.2. De klei in de Formatie van de Kempen ...	21
6. SEDIMENTOLOGISCH ONDERZOEK	24
6.1. Inleiding	24
6.2. Laboratoriumonderzoek	24
6.3. Verwerking van de gegevens	25
6.4. De litostratigrafische eenheden	27
6.4.1. Formatie van Berchem	27
6.4.2. Formatie van Diest	28
6.4.3. Formatie van Kattendijk	28
6.4.4. Formatie van Lillo	29
6.4.5. Formatie van Merksplas	30
6.4.6. Formatie van de Kempen : kleimonsters van de gestoken boringen	30

6.4.7.	Formatie van de Kempen : zandmonsters van de gestoken boringen	31
6.4.8.	Formatie van de Kempen : zandmonsters van 30 m onder de grens Boven-Pleistoceen/Onder-Pleistoceen, uit de gepulste boringen	32
6.4.9.	Formatie van de Kempen : zandmonster van 20 m onder de grens Boven-Pleistoceen/Onder-Pleistoceen, uit de gepulste boringen	32
6.4.10.	Dek- en stuifzanden	33
6.5.	Hydrolitologische profielen.....	34
7.	HYDROGEOLOGISCHE BOUW VAN HET GRONDWATERRESERVOIR	36
7.1.	Boringen + sedimentologisch onderzoek	36
7.2.	Aanvulling : geofysische boorgatmetingen	37
8.	POMPPROEVEN	39
8.1.	Inleiding	39
8.2.	Pompproef op de put 74DB11/F1	39
8.2.1.	Verlaging	39
8.2.2.	Stijging	43
8.3.	Pompproef op put 73DB7/F1	47
8.3.1.	Verlaging	47
8.3.2.	Stijging	49
8.4.	Besluit	53
9.	WATERANALYSEN	55
9.1.	Inleiding	55
9.2.	Watermonster genomen tijdens pompproef	55
9.3.	Watermonsters genomen tijdens de verticale stromingsmetingen	57
10.	WATERBALANS VAN DE ONVERZADIGDE ZONE	61
10.1.	Inleiding	61
10.2.	De potentiële evapotranspiratie (PET)	61
10.3.	De waterbalans van de bodem	63
10.4.	Besluit	75
11.	STIJGHOOGTEWAARNEMINGEN	77
11.1.	Inleiding	77
11.2.	Seizoenschommelingen van de stijghoogten	78
11.2.1.	Vroeger geplaatste piëzometers	78
11.2.2.	De piëzometers geplaatst in het bestek van deze studie + peillatten	79
11.3.	Hydro-isohypsen	80
11.3.1.	Hydro-isohypsen van de half-artesische laag B	80

11.3.2. De hydro-isohypsen van de freatische laag A	81
11.4. Schommelingen van de grondwatertafel	82
11.5. Besluit	83
12. BESLUIT	87

BIBLIOGRAFIE

DANKWOORD

FIGUREN

- Fig. 2.1 - Situering van het studiegebied in de streek ten noorden van Antwerpen (naar M. MIJS, 1973)
- Fig. 5.1 - Ligging van de boringen, piëzometers en peillatten in het studiegebied
- Fig. 5.2 - Legende litostratigrafische profielen
- Fig. 5.3 - Litostratigrafisch profiel I doorheen de boringen tot grote diepte
- Fig. 5.4 - Litostratigrafisch profiel II : NW-SE
- Fig. 5.5 - Litostratigrafisch profiel III : SW-NE
- Fig. 5.6 - Isohypsen van de grens tussen Boven-Pleistoceen en Onder-Pleistoceen
- Fig. 5.7 - Hoogtelijnenkaart
- Fig. 5.8 - Voorkomen van klei in de boringen van 30 m diepte
- Fig. 5.9 - Voorkomen van klei in de handboringen
- Fig. 5.10 - Laterale verbreiding van de klei
- Fig. 5.11 - Isopachen van het zand boven de eerstvoorkomende kleilaag in de Formatie van de Kempen
- Fig. 6.1 - Kumulatieve kurven van de monsters van de Formatie van Berchem
- Fig. 6.2 - Kumulatieve kurven van de monsters van de Formatie van Diest
- Fig. 6.3 - Kumulatieve kurven van de monsters van de Formatie van Kattendijk
- Fig. 6.4 - Kumulatieve kurven van de monsters van de Formatie van Lillo
- Fig. 6.5 - Kumulatieve kurven van de monsters van de Formatie van Merksplas
- Fig. 6.6 - Kumulatieve kurven van de kleimonsters van de Formatie van de Kempen uit de gestoken boringen
- Fig. 6.7 - Kumulatieve kurven van de zandmonsters van de Formatie van de Kempen uit de gestoken boringen
- Fig. 6.8 - Kumulatieve kurven van de zandmonsters van de Formatie van de Kempen uit de gepulste boringen, 30 m onder de grens Boven-Pleistoceen/Onder-Pleistoceen
- Fig. 6.9 - Kumulatieve kurven van de zandmonsters van de Formatie van de Kempen uit de gepulste boringen, 20 m onder de grens Boven-Pleistoceen/Onder-Pleistoceen

- Fig. 6.10 - Kumulatieve kurven van de monsters van de dek- en stuifzanden
- Fig. 6.11 - Hydrolitologisch profiel van de boring 74DB12 (1e deel)
- Fig. 6.12 - Hydrolitologisch profiel van de boring 74DB11-12 (2e deel)
- Fig. 6.13 - Hydrolitologisch profiel van de boring 73DB8 (1e deel)
- Fig. 6.14 - Hydrolitologisch profiel van de boring 73DB7-8 (2e deel)
- Fig. 7.1 - Hydrogeologische bouw van het grondwaterreservoir in boring 74DB11-12
- Fig. 7.2 - Hydrogeologische bouw van het grondwaterreservoir in boring 73DB7-8
- Fig. 7.3 - Meting spontane potentiaal en elektrische weerstand in boring 74DB11
- Fig. 7.4 - Meting spontane potentiaal en elektrische weerstand in boring 73DB7
- Fig. 7.5 - Meting diameter en gammastraling in boring 74DB11
- Fig. 7.6 - Meting diameter en gammastraling in boring 73DB7
- Fig. 7.7 - Meting verticale stroming in piëzometer 74DB11/F1
- Fig. 7.8 - Meting verticale stroming in piëzometer 73DB7/F1
- Fig. 8.1 - Stijghoogteschommeling in getuigeput 74DB5/F1 gedurende de pompproef op put 74DB11/F1
- Fig. 8.2 - Tijd-verlagingskurven op semi-logaritmisch papier van de pompproef op put 74DB11/F1
- Fig. 8.3 - Tijd-verlagingskurven op bi-logaritmisch papier van de pompproef op put 74DB11/F1
- Fig. 8.4 - Tijd-verlagings- en tijd-afstandskurven in de drie lagen, van de pompproef op put 74DB11/F1, berekend met het simulatiemodel (L. LEBBE, 1981)
- Fig. 8.5 - Stijghoogteschommeling in getuigeput 74DB5/F1 tijdens de stijging na stilleggen van de pomp in put 74DB11/F1
- Fig. 8.6 - Stijghoogteschommeling in getuigeput 73DB2/F1 gedurende de pompproef op put 73DB7/F1
- Fig. 8.7 - Tijd-verlagingskurven op semi-logaritmisch papier van de pompproef op put 73DB7/F1
- Fig. 8.8 - Tijd-verlagingskurven op bi-logaritmisch papier van de pompproef op put 73DB7/F1
- Fig. 8.9 - Tijd-verlagings- en tijd-afstandskurven in de drie lagen, van de pompproef op put 73DB7/F1, berekend met het simulatiemodel (L. LEBBE, 1981)

- Fig. 8.10 - Stijghoogteschommeling in getuigeput 73DB2/F1 tijdens de stijging na stilleggen van de pomp in put 73DB7/F1
- Fig. 8.11 - De hydraulische parameters van de verschillende water-voerende en half-doorlatende lagen
- Fig. 9.1 - Piper-diagram van de wateranalysen
- Fig. 10.1 - Seizoenschommelingen in piëzometer 73VB8 + waterbalans van de bodem
- Fig. 11.1 - Hydro-isohypsen van de half-artesische laag B op 01.02.80
- Fig. 11.2 - Hydro-isohypsen van de half-artesische laag B op 01.05.80
- Fig. 11.3 - Hydro-isohypsen van de half-artesische laag B op 01.08.80
- Fig. 11.4 - Hydro-isohypsen van de half-artesische laag B op 01.11.80
- Fig. 11.5 - Hydro-isohypsen van de freatische laag A op 01.02.80
- Fig. 11.6 - Hydro-isohypsen van de freatische laag A op 01.05.80
- Fig. 11.7 - Hydro-isohypsen van de freatische laag A op 01.08.80
- Fig. 11.8 - Hydro-isohypsen van de freatische laag A op 01.11.80
- Fig. 11.9 - Lijnen van gelijke stijghoogteschommeling tussen de minimum en maximum stijghoogte gedurende de periode 01.12.79 tot 30.11.80 in de freatische laag
- Fig. 11.10 - Daling van de grondwatertafel in cm/dag gedurende de periode april-mei 1980

TABELLEN

Tabel 5.1	- Gegevens betreffende de boringen van 10 m diepte	14
Tabel 5.2	- Gegevens betreffende de boringen van 30 m diepte	17
Tabel 5.3	- Gegevens betreffende de boringen tot grote diepte	19
Tabel 5.4	- Percentsgewijs voorkomen van kleilagen >20 cm in de Formatie van de Kempen per zone van 1 m	23
Tabel 8.1	- Interpretatie van de pompproef op 74DB11/F1 in de half-artesische laag C, volgens HANTUSH 1, voor de piëzometers in de aangepompte laag	41
Tabel 8.2	- Interpretatie van de pompproef op 74DB11/F1 in de half-artesische laag C, volgens WALTON, voor de piëzometers in de aangepompte laag	41
Tabel 8.3	- Interpretatie van de pompproef 74DB11/F1 in de half-artesische laag C, volgens HANTUSH 1, voor de piëzometers in de half-artesische laag B	42
Tabel 8.4	- Interpretatie van de pompproef 74DB11/F1 in de half-artesische laag C, volgens WALTON, voor de piëzometers in de half-artesische laag B	42
Tabel 8.5	- Grondwaterbalans van de half-artesische laag C tijdens de pompproef op put 74DB11/F1	44
Tabel 8.6	- Grondwaterbalans van de half-artesische laag B tijdens de pompproef op put 74DB11/F1	45
Tabel 8.7	- Grondwaterbalans van de freatische laag A tijdens de pompproef op put 74DB11/F1	46
Tabel 8.8	- Interpretatie van de restverlagingskurven na het stilleggen van de pomp in put 74DB11/F1 in de half-artesische laag C, volgens de methode van JACOB	47
Tabel 8.9	- Interpretatie van de pompproef op 73DB7/F1 in de half-artesische laag C, volgens HANTUSH 1, voor de piëzometers in de aangepompte laag	48
Tabel 8.10	- Interpretatie van de pompproef op 73DB7/F1 in de half-artesische laag C, volgens WALTON, voor de piëzometers in de aangepompte laag	48
Tabel 8.11	- Interpretatie van de pompproef op 73DB7/F1 in de half-artesische laag C, volgens HANTUSH 1, voor de piëzometers in de half-artesische laag B	48
Tabel 8.12	- Interpretatie van de pompproef op 73DB7/F1 in de half-artesische laag C, volgens WALTON, voor de piëzometers in de half-artesische laag B	49

Tabel 8.13 - Grondwaterbalans van de half-artesische laag C tijdens de pompproef op put 73DB7/F1	50
Tabel 8.14 - Grondwaterbalans van de half-artesische laag B tijdens de pompproef op put 73DB7/F1	51
Tabel 8.15 - Grondwaterbalans van de freatische laag A tijdens de pompproef op put 73DB7/F1	52
Tabel 8.16 - Interpretatie van de restverlagingskurven na stilleggen van de pomp in put 73DB7/F1 in de half-artesische laag C volgens de methode van JACOB	53
Tabel 9.1 - Wateranalyse op monster genomen uit 73DB7/F1, filterdiepte 78,30 tot 136,25 m	56
Tabel 9.2 - Wateranalyse op de monsters genomen uit de pompput 73DB7/F1 en 74DB11/F1, respektievelijke filterdiepten 59,10 tot 109,80 en 78,30 tot 136,25	59
Tabel 10.1 - De maandelijks potentiële evapotranspiratie vanaf 1969 tot 1979 volgens PENMAN (1952)	65
Tabel 10.2 - Waterbalans van de onverzadigde zone vanaf 1969 tot 1979 volgens THORNTHWAITE & MATHER (1957)	70
Tabel 10.3 - Jaarlijkse neerslag R (in mm), jaarlijks overschot SUR (in mm) en jaarlijkse voedingskoëfficiënt voor de periode 1960-1979	75

HYDROGEOLOGISCHE STUDIE VAN "DE KALMTHOUTSE HEIDE" EN DE OMLIGGENDE LANDBOUWGRONDEN

1. INLEIDING

Over de invloed van grondwaterwinningen op de vegetatie is reeds veel gesproken en geschreven. Vooral in de laatste decennia heeft het probleem zich door de toenemende behoefte aan water steeds scherper gesteld. Ekologen, land- en tuinbouwers hebben steeds weer, terecht of onterecht, hun ongenoegen laten blijken over de inplanting of de uitbreiding van grondwaterwinningen. Er zijn evenwel weinig studies uitgevoerd die tot konkrete resultaten over die problematiek hebben geleid.

In de streek van Kalmthout-Essen is het probleem sinds lang gekend. Niet alleen de P.I.D.P.A. maar ook Nederlandse waterwinningsbedrijven pompen er water uit de ondergrond. Eerder op gevoel dan op grond van werkelijke gegevens werd door sommigen de verdroging van de grond en de veranderingen in de vegetatie hieraan toegeschreven, terwijl de schommelingen van het klimaat over het hoofd werden gezien. Anderen beschouwden het klimaat dan weer als enige oorzaak.

Het grote belang van "De Kalmthoutse Heide", dat als ekologisch gebied is geklasseerd, rechtvaardigde een globale studie over de wisselwerking tussen de waterhuishouding en het plantendek. Omwille van het dringend karakter en de beperking van de uitgaven werd de studie voorzien voor een volledig hydrologisch jaar. Alhoewel een dergelijke beperking veel nadelen inhoudt zou de studie het nodige gegevensmateriaal kunnen verschaffen om een aantal gefundeerde besluiten te trekken. Bij de onderzoeken zou ook het omgevende landbouwgebied worden betrokken.

Op 12 november 1978 werd tussen de Belgische Staat en de Interkommunale Grondbeleid en Expansie Antwerpen (IGEAN) een kontrakt afgesloten om een hydrologische, bodemkundige en ekologische studie van de "Kalmthoutse Heide" en de omliggende landbouwgronden uit te voeren.

De studie had tot doel na te gaan of de freatische waterpeilschommelingen al dan niet het gevolg zijn van andere dan natuurlijke factoren en desgevallend de oorzaak van een niet-natuurlijke invloed van Belgische en/of buitenlandse oorsprong op te sporen; tevens zou de studie nagaan in welke mate de waterpeilschommelingen de landbouwgronden, de heide en de vegetatie in het algemeen beïnvloeden en welke de te verwachten evolutie hieromtrent is.

Op 16 maart 1979 werd de Leerstoel voor Toegepaste Geologie van de Rijksuniversiteit te Gent ervan in kennis gesteld dat hij met uitvoering van de hydrologische deelstudie werd belast. Deze deelstudie omvatte het hydrogeologisch en het bodemkundig aspect. Voor het eerste aspect zou de Leerstoel voor Toegepaste Geologie (Prof. Dr. W. DE BREUCK) zelf instaan, voor het tweede de Leerstoel voor Bodemfysica (Prof. Dr. ir. M. DE BOODT).

In de hydrogeologische studie zou de aandacht vooral uitgaan naar :

- een systematische kartering van de oppervlakkige lagen, en meer in het bijzonder de klei van de Formatie van de Kempen;
- de bepaling van de hydraulische parameters van de afzettingen;
- de klimatologische evolutie gedurende de laatste twintig jaren;
- metingen van de oppervlaktewateren gedurende een periode van twee jaar;
- metingen van de waterstanden in de bestaande peilbuizen gedurende een periode van twee jaar en de verwerking van alle beschikbare piëzometrische gegevens.

De werkzaamheden op het terrein omvatten :

- 85 gespoelde handboringen met droge bemonstering van circa 10 m diepte waarbij telkens één piëzometer werd aangebracht; op 61 plaatsen werd een tweede put op geringere diepte gespoeld waar een tweede piëzometer werd aangebracht;
- 16 gepulste mechanische boringen met monsternamen, van circa 30 m diepte waarin twee of meerdere piëzometers werden aangebracht;
- 2 gespoelde boringen met monsternamen tot op de ondoorlatende laag respectievelijk tot 112 en 140 m, die tot pompputten werden uitgebouwd;

- 2 gestoken boringen met monsternamen tot circa 90 m diepte, op 50 m afstand van de pompputten, die tot peilputten werden uitgebouwd;
- 2 gespoelde boringen met monsternamen tot circa 90 m diepte, op 100 m afstand van de pompputten, die tot peilputten werden uitgebouwd;
- 2 pompproeven op de putten van respectievelijk 112 en 140 m diepte;
- plaatsen van 11 peilpunten in de belangrijkste oppervlaktewaters;
- peilmetingen op de piëzometers, om de 14 dagen;
- peilmetingen op de belangrijkste oppervlaktewaters, om de 14 dagen;
- waterpassing van alle boor- en peilpunten.

De uitvoering van de pompproeven heeft geleid tot een aanzienlijke verlenging van het veldwerk. De boringen werden aangevat op 12 mei 1980 en de tweede pompproef werd beëindigd op 23 juli 1980. Daar het voorzien budget voor de uitvoering van de pompproeven fel onderschat was, besloot de stuurgroep op haar vergadering van 13 maart 1980 slechts twee volledige pompproeven uit te voeren in de plaats van vier, zoals oorspronkelijk was voorzien.

Daarnaast werden 100 granulometrische analyses van grondmonsters uit de verschillende afzettingen uitgevoerd.

2. SITUERING

Het studiegebied (fig. 2.1) ligt op het grondgebied van de gemeenten Kalmthout en Essen (Provincie Antwerpen) en behoort tot het kaartblad 7/3-4 (Kalmthoutse Hoek-Kalmthout) van de topografische kaart van het N.G.I. Landschappelijk maakt het deel uit van de Antwerpse Noorderkempen.

Ten zuiden wordt het gebied begrensd door de onderrand van het kaartblad 7/3-4, ten westen door de grens België-Nederland, ten noorden door de bovenrand van het kaartblad 7/3-4 en ten oosten door de spoorlijn Antwerpen-Roosendaal.

Het grootste deel van het gebied wordt ingenomen door de "Kalmthoutse Heide", een geklasseerd gebied, met een oppervlakte van ongeveer 1873 ha. Een kleiner deel omvat landbouwgronden in het noorden en in het oosten. Het centrale deel (\pm 732 ha) van het geklasseerde gebied werd bij K.B. van 24.09.1968 volwaardig staatsnatuurreservaat. Het omvat een belangrijk duin- en heidelandschap met een buitengewoon rijke fauna en flora.

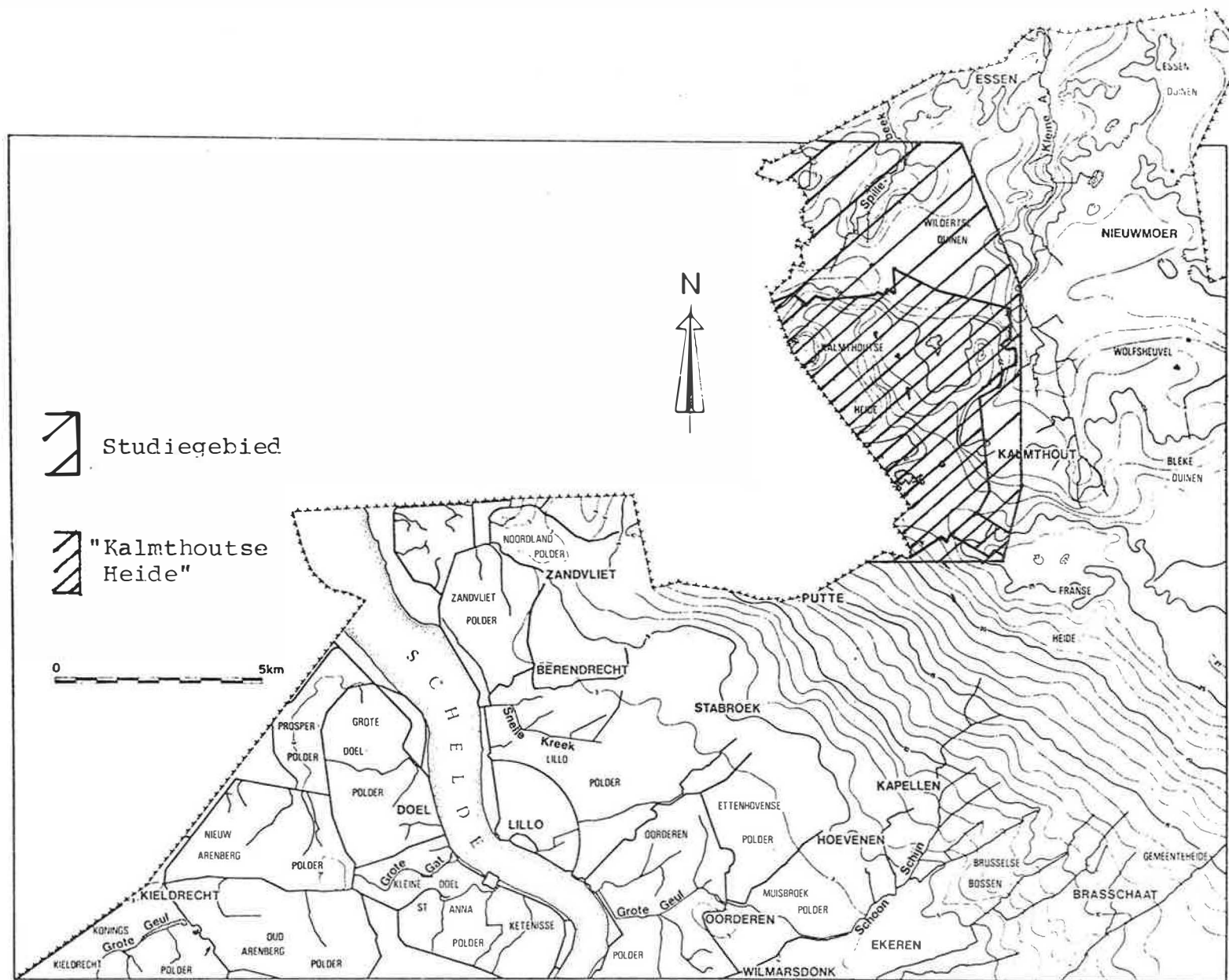


Fig. 2.1 - Situering van het studiegebied in de streek ten noorden van Antwerpen (naar M. MIJS, 1973)

3. FYSIOGRAFIE

3.1. Topografie

De Antwerpse Noorderkempen worden gekenmerkt door een vlak dekzandreliëf (M. MIJS, 1973 en 1974), waarin zachtgolvende interfluvia afwisselen met relatief brede beekdalen. Op verschillende plaatsen echter onderbreken landduinmassieven dit vlakke uitzicht.

Het duinmassief van de "Kalmthoutse Heide", centraal in het studiegebied gelegen, is wat oppervlakte en vormenrijkdom betreft, veruit het belangrijkste hiervan. Het vlakke dekzandlandschap in deze streek daalt van +20 m (*) in noordelijke richting tot +10 m aan de Belgisch-Nederlandse grens; in het duinmassief liggen de hoogten tussen +23 en +25 m; de hoogste duintoppen bereiken zelfs meer dan +30 m.

J. DE PLOEY (1961) beschreef de makromorfologische structuur van de Noorderkempen als een mikro-cuestalandschap.

Het gebied ligt op het cuestaoppervlak, dat zich in de streek voordoet als een zacht naar het noordoosten afhellende vlakte. Het cuestafront ligt ten zuidwesten van het bestudeerde gebied. Het heeft een helling van ca. 0,25°. Op figuur 2.1 is het te herkennen aan het evenwijdig verloop van de hoogtelijnen.

3.2. Hydrografie

Het algemeen uitzicht van het hydrografisch net in de Noorderkempen is konsekwent met het makroreliëf (M. MIJS, 1973). Talrijke kunstmatige waterlopen en grachten beïnvloeden het waterstaatkundig geheel.

De zachte helling van de cuestarug wordt in hoofdzaak ontwaterd door de bekkens van de Kleine A en de Spillebeek, alsook door de gegraven Rozendaalse vaart. Zij behoren tot het stroomgebied van de Oosterschelde. Oorspronkelijk behoorden de Kleine A en Spillebeek tot het stroomgebied van de Maas, maar ze werden door kunstmatige aftapping naar de Schelde afgeleid. Op het cuestafront gebeurt de afwatering naar de Westerschelde.

* Alle peilen zijn aangegeven in meters t.o.v. het vergelijkingsvlak T.A.W. (Tweede Algemene Waterpassing) van het N.G.I. (Nationaal Geografisch Instituut).

In het studiegebied kan men vier drainagebekkens onderscheiden (M. MIJS, 1974). Wegens zijn vlak karakter waren er weinig natuurlijke verbindingen en ging men over tot het graven van talrijke kunstmatige waterlopen. Het noordelijk en noordoostelijk deel wordt ontwaterd langs de Papemoerbeek en de Oude Moervaart naar de Spillebeek. Het oostelijk deel sluit aan bij het stroomgebied van de Kleine A, en ook bij de Rozendaalse vaart. Het westelijk deel staat via het Grote Meer en de poldersluis van Ossendrecht met de Schelde in verbinding. Het water in het zuidwestelijk en zuidelijk deel wordt via de Schijnafleiding eveneens naar de Schelde gevoerd.

Kenmerkend voor een landduinmassief is de aanwezigheid van talrijke vennen. De centrale vennen vormen een reeks bekkens waarbij het ene in het andere overloopt (J. SCHOOFS, 1972). Het hoogst gelegen is de Putse Moer, die langs de Verbindingsgracht afwatert naar het Stappersven. Dit laatste ontvangt ook water van de Drielingsvennen en de Kempenkuilen en loopt over in de moerassen van de Nol. Deze kunnen via de Oude Moervaart en de Vertakkingsgracht afwateren naar respectievelijk de Spillebeek en de Rozendaalse vaart.

4. GEOLOGIE

4.1. De oude formaties

In het beschouwde gebied ligt het paleozoïsch substraat, dat er tot het Massief van Brabant behoort, tussen de peilen -850 en -950. Het wordt diskordant bedekt door de mesozoïsche formaties met een dikte van ongeveer 250 m (R. LEGRAND, 1968) die naar het noordoosten hellen.

Daarop treft men de eocene formaties aan, die evenals de vorige naar het noordoosten hellen. Ze bestaan uit zanden en kleien van het Landeniaan, het Ieperiaan, het Paniseliaan, het Brusseliaan (?), het Lediaan en het Bartoniaan. De top van het Eoceen ligt tussen -250 tot -350. Daarop rusten oligocene formaties. Die bestaan onderaan uit zanden en bovenaan uit klei : de Klei van Boom. De dikte van deze klei bedraagt ongeveer 100 m. Te Essen, ten noorden van het gebied, ligt de top ervan op -159. Te Putte in het zuidwesten ligt de top op -70.

4.2. De aangeboorde formaties

De twee diepe boringen bereikten de top van de Klei van Boom op -84 en -116. Op de Klei van Boom komt een zandig complex voor, dat respektievelijk 109 m en 138 m dik was. De formaties waaruit dit complex is samengesteld worden hieronder besproken. Voor de neogene afzettingen werd de lithostratigrafische en biostratigrafische indeling van F.J. DE MEUTER en P.G. LAGA (1976) gevolgd.

4.2.1. Formatie van Berchem (Midden-Mioceen)

De Formatie van Berchem bestaat uit groene tot zwartachtige, zeer glaukonietrijke, dikwijls licht kleihoudende, fijne tot fijn middelmatige zanden. Ze bevatten veel schelpen, die ofwel verspreid liggen ofwel gekoncentreerd in subhorizontale lagen. Lokaal is de formatie ontkalkt. Het basisgrint is min of meer ontwikkeld en bestaat vooral uit zwarte silexkeien.

In het studiegebied kan men twee lithostratigrafische eenheden onderscheiden. Onderaan ligt een dunne laag van Zanden van Edegem, die eerder fijn en kleiïg zijn met een goed ontwikkeld basisgrint. Bovenaan komen de Zanden van Antwerpen voor, die fijn middelmatig zijn.

4.2.2. Formatie van Diest (Boven-Mioceen)

De Formatie van Diest bestaat uit grijsgroene tot bruinachtige, glaukonietrijke plaatselijk kleiïge, meestal grofkorrelige zanden met zandsteenlagen. Ze bevatten meestal geen fossielen en hebben een goed ontwikkeld basisgrint met kleine silexkeien.

4.2.3. Formatie van Kattendijk (Onder-Plioceen)

De Formatie van Kattendijk bevat donkergrijze tot groen-grijze glaukoniethoudende, kleihoudende fijne tot fijn middelmatige zanden. Soms zijn ze gevlekt door gangen. Lokaal treft men belangrijke hoeveelheden Ditrupa aan. Schelpen liggen verspreid in het zand of gekoncentreerd in één of meerdere lagen. Het basisgrint bestaat uit afgeronde kwarts- en silexstukken, met haaietanden, fosfaatknollen en gerolde beenderen.

4.2.4. Formatie van Lillo (Boven-Plioceen)

De Formatie van Lillo bestaat uit grijze, grijsbruine en licht grijsbruine schelphoudende zanden. Het onderste gedeelte is kleiïg en bevat verscheidene schelpenlagen; in het bovenste gedeelte neemt het kleigehalte en de dikte van de schelpenlagen geleidelijk af.

In het gebied zijn er vier litostratigrafische leden te onderscheiden, van onder naar boven respectievelijk de Zanden van Luchtbal, de Zanden van Oorderen, de Zanden van Kruisschans en de Zanden van Merksem. Alleen het onderste lid is duidelijk te begrenzen. Tussen de andere leden gebeurt de overgang geleidelijk.

De Zanden van Luchtbal zijn licht bruingrijze tot witachtige zeer schelprijke glaukoniethoudende zanden. De schelpen zijn meestal goed bewaard. In veel gevallen zijn deze zanden volledig herwerkt, waardoor enkele elementen terug te vinden zijn in de onderste schelpenbank van de bovenliggende Zanden van Oorderen.

De Zanden van Oorderen zijn grijsgroene tot grijsbruine schelp-, glaukoniet- en kleihoudende fijne zanden, meestal met drie dikke kompakte schelpenlagen. De onderste schelpenlaag bevat grint en afgeronde beenderen. Het onderste gedeelte van deze

zanden is grijsbruin en homogeen, het bovenste gedeelte is donkerder en kleiïger.

De Zanden van Kruisschans zijn grijsgroene glaukoniethoudende fijne tot fijn middelmatige zanden met schelpengruis en kleine schelpen. Er komen vele lenzen en lagen donkergrijze klei in voor, meestal 1 tot 1,5 cm dik en plaatselijk zelfs 10 tot 15 cm. Naar onder toe worden de klei en het zand meer en meer gemengd om aldus over te gaan in de Zanden van Oorderen. Er bestaat evenwel geen duidelijke grens, evenmin als voor de overgang naar de Zanden van Merkssem : ze bevatten evenwel minder klei.

De Zanden van Merkssem zijn grijsgele fossiel- en glaukonieethoudende homogene fijne (soms grovere) zanden. Het onderste gedeelte vertoont kruisgelaagde sets met dunne kleilaagjes. Het bovenste gedeelte is horizontaal gelaagd en de kleilaagjes erin zijn zeldzaam. Plaatselijk komen er zandsteen- en siderietkonkreties in voor.

4.2.5. Formatie van Merksplas (Onder-Pleistoceen)

Boven het Pliocene zijn in de Antwerpse Kempen onderpleistocene zanden aangetroffen. Het zijn grijze grove zanden die plaatselijk grint kunnen bevatten. Er kunnen ook kleiïge lenzen en banden in voorkomen. Ze worden Zanden van Merksplas genoemd (M. GULINCK, 1962). De overgang tussen de Formatie van Merksplas en de bovenliggende Formatie van de Kempen uit zich meestal als een grens tussen grove en fijne zanden. Op sommige plaatsen is de overgang echter geleidelijk.

4.2.6. Formatie van de Kempen (Onder-Pleistoceen)

De Formatie van de Kempen is een complex van zand, leem en klei, dat soms ligniet bevat (M. GULINCK, 1962). Over de ouderdom van dit complex evenals het milieu waarin het tot stand kwam is men het niet eens. J. GEYS (1975) meent dat het een fluviaatlimnische afzetting is.

De stroom van de Noorderkempen die voor het ontstaan van deze Formatie verantwoordelijk was, vloeiده in westnoordwestelijke richting. Zijn stromingsenergie was waarschijnlijk klein. Op sommige plaatsen en tijdstippen kwam stilstaand water voor,

waardoor een grillig patroon van kleiplaten en zandstroken ontstond. De textuur van deze formatie is dan ook zeer uiteenlopend, van grof grinthoudend zand tot zware klei. De formatie heeft zich gevormd in de periode die liep van het Tigliiaan tot het Cromeriaan.

4.2.7. Dek- en stuifzanden (Boven-Pleistoceen)

Tussen de afzettingsfazen van de Formatie van de Kempen enerzijds en het Eemiaan anderzijds is een hiaat, dat de onderpleistocene en bovenpleistocene sedimenten scheidt. De bovenpleistocene sedimenten vangen in het gebied aan met dekzanden van Weichseliaanouderdom. Soms komen lemige zanden en veen voor.

Tijdens het Holoceen zijn verstuivingen van duinen, vooral tengevolge van menselijke ingrepen en ontbossing, verantwoordelijk voor het ontstaan van een laatste generatie stuifzanden; in die periode heeft zich ook veen gevormd.

5. BORINGEN

Ten einde de litologische bouw van de neogene afzettingen in het studiegebied te onderzoeken en hydrologische waarnemingspunten aan te brengen, werden een groot aantal boringen uitgevoerd.

5.1. Boringen van 10 m diepte

Door de Rijksuniversiteit Gent werden tussen mei 1979 en februari 1980, 85 ondiepe handboringen (HB) uitgevoerd (fig. 5.1). De gegevens betreffende deze boringen zijn aangegeven in tabel 5.1. De boorverslagen en plans zijn in aanhangsel opgenomen.

Van de 85 boringen werden er 75 uitgevoerd in het geklasseerde gebied "De Kalmthoutse Heide" en 10 in de omliggende landbouwgronden. De boringen werden zoveel mogelijk volgens een vierkantennet ingeplant met het oog op het tekenen van doorsneden. Alle putten werden tot in de Formatie van de Kempen geboord. De gemiddelde diepte bedraagt 10,37 m.

Tot aan het freatisch oppervlak werd een wangboor gebruikt. Om het boren beneden de watertafel mogelijk te maken dienden voerbuizen geplaatst te worden ten einde te beletten dat het boorgat dichtvloeide. Vanaf de watertafel werd de boring gespoeld. In klei werd een spiraal- of gutsboor gebruikt. De lagen werden droog bemonsterd.

De boorputten werden tot hydrologische waarnemingspunten uitgebouwd door het aanbrengen van een 1 m lang P.V.C. filterelement met daarop aansluitende bronbuizen (diameter 36/40 mm).

Waar een belangrijke kleilaag aangetroffen werd, werd een tweede boorgat gespoeld tot op deze kleilaag. Hierin werd eveneens een filterelement aangebracht (36/40 mm). Dit is gebeurd bij 61 van de 85 boringen. De gemiddelde diepte bedraagt 4,03 m.

Alle piëzometers zijn afgewerkt met een betonblokje van 20 cm op 20 cm, met een ronde opening van 10 cm diameter, dat met een tegel is afgedekt. Deze bevindt zich op ongeveer 5 cm onder het maaiveld. Hierdoor wordt het landschap niet ontsierd en is de kans op vernietiging van de piëzometers minder groot.

5.2. Boringen van 30 m diepte

Door de Rijksuniversiteit Gent werden in de tweede helft van 1979 en begin 1980, 16 gepulste boringen (DB) uitgevoerd (fig. 5.1 en tab. 5.2). De boorverslagen en plans zijn in aanhangsel opgenomen.

Alle boringen werden in het geklasseerde gebied "De Kalmthoutse Heide" uitgevoerd. In enkele gevallen werd de Formatie van Merksplas aangeboord. Steeds werd de boring 5 m dieper dan de laatst voorkomende belangrijke kleilaag in de Formatie van de Kempen gedreven. De gemiddelde diepte bedraagt 33,62 m per boring.

Al deze boringen werden met puls en spiraal (in klei) uitgevoerd. Om de halve meter werd een monster genomen.

In ieder boorgat werd een piëzometer met een filterelement van tenminste 5 m (buitendiameter 110 mm/binnendiameter 103 mm) aangebracht. Wegens technische moeilijkheden werd in één van de putten een piëzometer met diameter van 90 mm aangebracht. Op de diepten waar een belangrijke kleilaag voorkwam, werd rond de piëzometer een kleistop gevormd. Op alle piëzometers kan een hydrograaf worden geplaatst.

In ieder boorgat werd een tweede piëzometer (36/40), met een filterelement van 1 m lengte, juist boven de eerste kleilaag aangebracht. In enkele gevallen (tab. 2) werd zelfs een derde of een vierde piëzometer (36/40) geplaatst.

De diepe boorputten zijn afgewerkt met een betonblok van 40 cm op 40 cm met een ronde opening van 20 cm diameter, dat met een tegel is afgedekt. De top ervan bevindt zich gemiddeld ca. 10 cm onder het maaiveld.

Op 30 oktober 1980 werd nog een zeventiende boring (73DB10) tot 30 m gespoeld om bijkomende informatie over het verloop van de hydro-isohypsen te verkrijgen. In dit boorgat werden 2 piëzometers (Ø 36/40) geplaatst.

5.3. Boringen tot grote diepte

De boringen tot grote diepte hadden tot doel de lagen te verkennen tot de Klei van Boom en het plaatsen van de pompputten voor de proefpompingen. De boringen werden aan de firma GEOLAB uit Gent toevertrouwd. De beschrijving van de boorprofielen gebeurde dagelijks ter plaatse (aanhangsel), alsook achteraf in het Geologisch Instituut. (fig. 5.1 en tabel 5.3).

Er werd één plaats in het noorden en een tweede in het zuiden van het geklasseerd gebied uitgekozen.

Op elke plaats werd driemaal geboord. Eerst werd een gekernde boring uitgevoerd tot een diepte van circa 90 m, of ongeveer halverwege tussen de halfdoorlatende laag van de Formatie van de Kempen en de eerstvolgende ondoorlatende laag. In die put werden vier piëzometers (\emptyset 36/40 mm) aangebracht om het verloop van de waterstanden in de verschillende lagen tijdens de pompproef te kunnen volgen.

Op 50 m afstand hiervan werd een tweede put gespoeld tot op de ondoorlatende laag. Deze werd tot pompput omgebouwd door het aanbrengen van een filter met een diameter van 200/210 mm over de ganse dikte van de (semi-artesische) laag boven de Klei van Boom. Naast de pompput werd een tweede piëzometer (36/40), tot halverwege de filter van de pompput geplaatst, om de verlaging van het waterpeil tijdens de pompproef nabij de pompput te kunnen volgen.

Op 100 m van de pompput werd een derde boorgat gespoeld tot op dezelfde diepte als de gestoken boring. Ook hierin werden vier piëzometers (36/40) aangebracht.

Alle piëzometers werden naderhand tot onder het maaiveld afgezaagd, met bakstenen omgeven en met een tegel afgedekt. Alzo verstoren ook deze piëzometers het landschap niet.

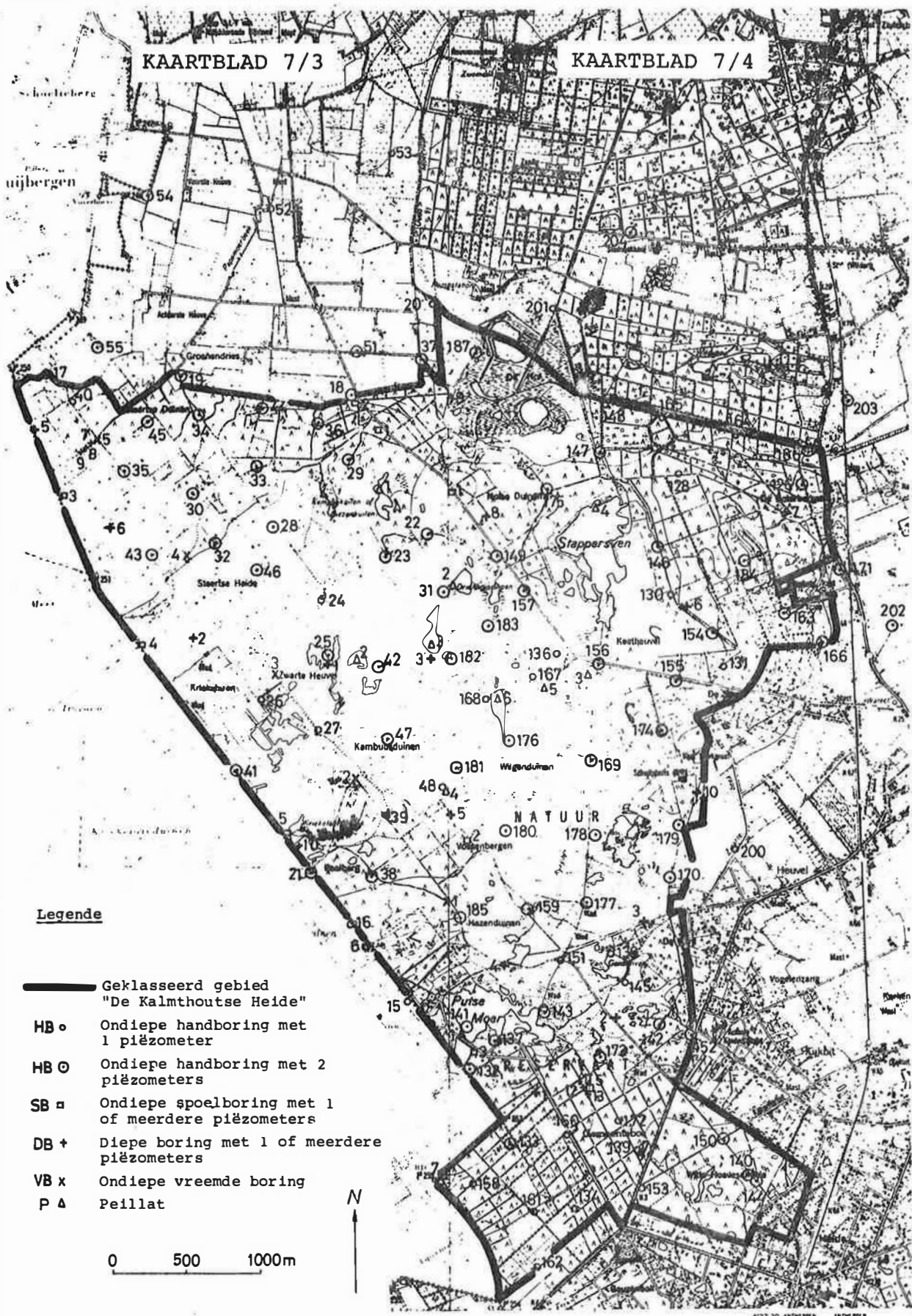


Fig. 5.1 - Ligging van de boringen, piëzometers en peillatten in het studiegebied

Tabel 5.1 - Gegevens betreffende de boringen van 10 m diepte

<u>Boring</u>	<u>Diepte boorgat (in m)</u>	<u>Filter 1</u> van-tot (in m)	<u>Filter 2</u> van-tot (in m)
73HB21	9,30	8,30- 9,30	2,70-3,70
73HB22	10,50	8,50- 9,50	3,00-4,00
73HB23	10,50	9,40-10,40	2,70-3,70
73HB24	10,50	8,00- 9,00	
73HB25	10,10	9,00-10,00	2,60-3,60
73HB26	10,40	8,90- 9,90	
73HB27	10,20	9,00-10,00	
73HB28	10,00	8,50- 9,50	3,80-4,80
73HB29	10,50	9,30-10,30	3,70-4,70
73HB30	9,50	8,00- 9,00	3,80-4,80
73HB31	10,30	9,00-10,00	2,50-3,50
73HB32	9,80	8,70- 9,70	1,70-2,70
73HB33	10,50	9,40-10,40	4,70-5,70
73HB34	9,60	8,50- 9,50	5,50-6,50
73HB35	10,60	9,60-10,60	6,00-7,00
73HB36	10,50	9,40-10,40	4,70-5,70
73HB37	10,50	9,50-10,50	1,85-2,85
73HB38	11,00	8,60- 9,60	4,50-5,50
73HB39	12,50	11,50-12,50	
73HB40	8,20	6,90- 7,90	
73HB41	10,00	9,00-10,00	4,10-5,10
73HB42	11,50	10,30-11,30	3,00-4,00
73HB43	10,70	9,00-10,00	4,60-5,60
73HB44	10,70	9,50-10,50	4,70-5,70
73HB45	9,30	7,20- 8,20	4,30-5,30
73HB46	10,80	9,80-10,80	2,50-3,50
73HB47	10,30	9,00-10,00	3,60-4,60
73HB48	7,60	6,40- 7,40	
73HB51	11,50	10,00-11,00	0,20-1,20
73HB52	10,20	9,00-10,00	
73HB53	10,10	9,00-10,00	
73HB54	10,20	9,00-10,00	1,40-2,40
73HB55	11,20	10,00-11,00	1,30-2,30

Tabel 5.1 - vervolg

<u>Boring</u>	<u>Diepte boorgat (in m)</u>	<u>Filter 1</u> van-tot (in m)	<u>Filter 2</u> van-tot (in m)
74HB137	10,20	7,30- 8,30	2,70-3,70
74HB139	9,80	8,30- 9,30	
74HB141	10,00	7,50- 8,50	0,60-1,60
74HB144	10,15	7,20- 8,20	1,30-2,30
74HB145	10,50	9,25-10,25	
74HB146	10,50	9,30-10,30	1,40-2,40
74HB147	10,50	9,40-10,40	0,75-1,75
74HB148	10,50	9,65-10,65	
74HB149	10,50	8,70- 9,70	1,70-2,70
74HB150	9,50	7,70- 8,70	0,80-1,80
74HB151	10,00	9,00-10,00	
74HB152	10,00	9,30-10,30	0,50-1,50
74HB153	10,00	9,00-10,00	
74HB154	10,20	9,20-10,20	3,60-4,60
74HB155	10,50	9,40-10,40	1,85-2,85
74HB156	10,50	9,20-10,20	2,20-3,20
74HB157	10,50	8,50- 9,50	2,50-3,50
74HB158	10,50	9,20-10,20	
74HB159	10,00	9,00-10,00	3,70-4,70
74HB160	9,50	8,50- 9,50	
74HB161	9,50	8,50- 9,50	
74HB162	10,00	9,00-10,00	
74HB163	10,50	9,20-10,20	4,50-5,50
74HB164	10,50	9,00-10,00	
74HB165	10,50	9,20-10,20	
74HB166	10,50	9,20-10,20	2,20-3,20
74HB167	10,30	9,30-10,30	
74HB168	10,60	9,60-10,60	
74HB169	10,50	9,20-10,20	2,00-3,00
74HB170	10,50	9,30-10,30	1,30-2,30
74HB171	10,50	9,10-10,10	1,30-2,30
74HB172	9,50	8,50- 9,50	
74HB173	9,50	8,40- 9,40	2,40-3,40
74HB174	10,00	8,45- 9,45	4,05-5,05
74HB175	9,80	8,30- 9,30	2,80-3,80

Tabel 5.1 - vervolg

<u>Boring</u>	<u>Diepte boorgat (in m)</u>	<u>Filter 1</u> van-tot (in m)	<u>Filter 2</u> van-tot (in m)
74HB176	10,50	8,60- 9,60	3,50-4,50
74HB177	11,00	9,50-10,50	3,10-4,10
74HB178	11,50	9,60-10,60	3,20-4,20
74HB179	10,60	9,60-10,60	6,25-7,25 1,80-2,80
74HB180	11,00	9,80-10,80	3,80-4,80
74HB181	11,00	9,80-10,80	3,40-4,40
74HB182	11,00	9,80-10,80	4,30-5,30
74HB183	11,00	9,50-10,50	4,20-5,20
74HB184	11,50	10,60-11,60	3,90-4,90
74HB185	10,50	9,30-10,30	5,80-6,80
74HB186	11,00	9,55-10,55	1,25-2,25
74HB187	11,00	9,90-10,90	2,00-3,00
74HB200	11,30	10,30-11,30	
74HB201	11,00	9,60-10,60	
74HB202	13,30	11,20-12,20	7,60-8,60 0,00-1,00
74HB203	10,50	9,40-10,40	0,60-1,60
74HB204	11,00	9,90-10,90	4,30-5,30

Tabel 5.2 - Gegevens betreffende de boringen van 30 m diepte

<u>Boring</u>	<u>Diepte boorgat (in m)</u>	<u>Filters : van-tot (in m)</u>
73DB1	40,00	F1 : 30,40-40,40 F2 : 34,10-35,10 F3 : 16,10-17,10 F4 : 1,80- 2,80
73DB2	34,00	F1 : 29,00-34,00 F2 : 6,00- 7,00
73DB3	36,00	F1 : 30,90-35,90 F2 : 6,80- 7,80 F3 : 2,80- 3,80
73DB4	34,50	F1 : 29,10-34,10 F2 : 5,70- 6,70 F3 : 0,90- 1,90
73DB5	30,50	F1 : 25,65-29,50 F2 : 11,60-12,60 F3 : 5,15- 6,15
73DB6	31,00	F1 : 25,75-30,75 F2 : 11,05-12,05 F3 : 2,10- 3,10
73DB10	30,00	F1 : 28,60-29,60 F2 : 1,40- 2,40
74DB1	33,50	F1 : 28,00-33,00 F2 : 3,10- 4,10
74DB2	34,00	F1 : 27,90-32,90 F2 : 3,10- 4,10
74DB3	34,00	F1 : 28,50-33,50 F2 : 7,80- 8,80 F3 : 0,50- 1,50
74DB4	38,50	F1 : 27,60-37,60 F2 : 32,10-33,10 F3 : 2,65- 3,65
74DB5	31,00	F1 : 25,80-30,80 F2 : 4,30 - 5,30

Tabel 5.2 - vervolg

<u>Boring</u>	<u>Diepte boorgat (in m)</u>	<u>Filters : van-tot (in m)</u>
74DB6	35,50	F1 : 30,50-35,50 F2 : 6,65- 7,65 F3 : 0,80- 1,80
74DB7	31,00	F1 : 26,00-31,00 F2 : 1,40- 2,40
74DB8	32,00	F1 : 26,70-31,70 F2 : 7,20- 8,20 F3 : 3,10- 4,10
74DB9	36,00	F1 : 31,00-36,00 F2 : 13,55-14,55 F3 : 5,85- 6,85 F4 : 1,40- 2,40
74DB10	32,00	F1 : 26,20-31,20 F2 : 10,40-11,40 F3 : 3,20- 4,20 F4 : 0,85- 1,85

Tabel 5.3 - Gegevens betreffende de boringen tot grote diepte

	Diepte boorgat	Filters van - tot
73DB7	140,00	F1 : 78,30 - 136,25 F2 : 88,10 - 90,10
73DB8	91,00	F1 : 86,50 - 88,50 F2 : 43,00 - 45,00 F3 : 17,00 - 18,00 F4 : 5,70 - 6,70
73DB9	90,00	F1 : 86,00 - 88,00 F2 : 43,00 - 45,00 F3 : 18,00 - 19,00 F4 : 6,00 - 7,00
74DB11	112,00	F1 : 59,10 - 109,80 F2 : 64,00 - 66,00
74DB12	89,70	F1 : 84,50 - 86,50 F2 : 36,00 - 38,00 F3 : 6,50 - 7,50 F4 : 1,50 - 2,50
74DB13	89,00	F1 : 85,00 - 87,00 F2 : 36,50 - 38,50 F3 : 7,00 - 8,00 F4 : 2,00 - 3,00

5.4. Resultaten

5.4.1. Litostratigrafische profielen

Aan de hand van de boorbeschrijvingen en rekening houdend met de achteraf uitgevoerde granulometrische analyses en geofysische boorgatmetingen, werden litostratigrafische profielen van het studiegebied opgesteld (fig. 5.3, 5.4, 5.5), waarop ook de formaties aangeduid werden.

Uit het profiel op fig. 5.3 blijkt dat de Klei van Boom (Formatie van Rupel), die het substraat van het neogene zandpakket vormt, naar het noorden helt van het peil -84 in het zuiden van het studiegebied tot -115 in het noorden.

Op de Klei van Boom rust een zwart zeer glaukonietrijk kleihoudend fijn zand met een weinig schelpengruis, met een dikte van 21 m in het zuiden en 39 m in het noorden. Deze zanden behoren tot de Formatie van Berchem. De zanden worden kleiër naar onder toe. In het noorden vertonen ze bovendien enkele dunne steenlaagjes rond de peilen -87 en -89.

De Formatie van Diest met een dikte van circa 22 m zowel in het zuiden als in het noorden, bestaat uit donkergroene tot zwarte glaukonietrijke fijn tot middelmatige en middelmatige zanden die soms wat klei bevatten. Rond het peil -50 in het zuiden en -58 in het noorden komen er een aantal bruine zandsteenkonkreties voor.

De grens tussen de Formatie van Diest en de Formatie van Kattendijk was moeilijk te bepalen uit de spoelboringen, in de gestoken boringen kon men deze vastleggen rond het peil -40 in het zuiden en -54 in het noorden. Aan de basis van de Formatie van Kattendijk komen in het zuiden grote zwarte silexstukken voor. Het donker groengrijs glaukonietrijk fijn tot middelmatig zand van deze formatie is licht kleihoudend en bevat een weinig schelpengruis en schelpen.

Vervolgens treffen we in het zuiden tussen de peilen -36 en -15 het groengrijs schelpenrijk en glaukonietrijk fijn kleihoudend zand van de Formatie van Lillo aan, waarin enkele zeer schelpenrijke zones en enkele dunne kleilaagjes voorkomen. In het noorden ligt deze formatie tussen de peilen -53 en -48; ze blijkt hier iets grover en minder kleihoudend te zijn.

De Formatie van Merksplas bereikt een dikte van 12 m in het zuiden en 36 m in het noorden, zodat de bovengrens kan getrokken worden respektievelijk rond het peil -3 en -12. Deze formatie bestaat hoofdzakelijk uit fijn tot middelmatige, middelmatige en grove zanden waarin houtfragmenten kunnen voorkomen. De onderste 10 meters in het noorden zijn fijner en bevatten schelpengruis. Verscheidene van de boringen tot circa 30 m diepte bereikten de Formatie van Merksplas, wat meestal als een overgang naar een grover zand werd vastgesteld.

De Formatie van de Kempen, tussen de peilen +22 en -3 in het zuiden en +18 en -12 in het noorden, bestaat uit een complex van klei, leem en zand, waarin soms houtfragmenten werden aangetroffen. Naar boven toe komen er meer kleilagen voor, terwijl het zand meestal grover is onderaan in deze formatie.

De Formatie van de Kempen wordt afgedekt door een pakket hoofdzakelijk fijne dek- en stuifzanden die sterk in dikte variëren naargelang het een duin of een panne betreft.

5.4.2. De klei in de Formatie van de Kempen

De Formatie van de Kempen wisselt zowel lateraal als vertikaal snel in facies : de korrelverdeling van de zanden gaat van zeer fijn tot middelmatig, terwijl de leem en de klei zowel in dikke lagen als dunne lensjes kan voorkomen. Wegens deze snelle facieswisselingen is het niet mogelijk de kleizones te begrenzen.

Ten einde toch een beeld te krijgen van dit complex, werd eerst de grens tussen Boven-Pleistoceen + Holocene (= Dek- en stuifzanden) en Onder-Pleistoceen (= Formatie van de Kempen) bepaald. Deze grens wordt soms aangegeven door een fijn grintvloertje, maar dit is moeilijk weer te vinden in de boormonsters. Soms is de grens

te zien door de overgang van de geelkleurige eolische zanden naar de witte zanden van de Formatie van de Kempen, of door de aanwezigheid van klei. Het verloop van deze grens is voorgesteld op fig. 5.6. Hierop ziet met een sterk versneden bovengrens voor de Formatie van de Kempen, zoals men van een fluviatiele afzetting kan verwachten die achteraf onder eolische invloeden heeft gestaan. Dit heeft voor gevolg dat men de kleilagen of -lenzen niet kan voorstellen in diepte ten opzichte van een gemiddeld topvlak. De bovengrens volgt het huidig topografisch oppervlak niet, zoals blijkt uit het hoogtelijnenkaartje (fig. 5.7).

Ook een gemiddeld basisvlak, in dit geval de grens tussen de Formatie van de Kempen en de Formatie van Merksplas, kan niet getekend worden zoals men uit de boringen en fig. 5.8 kan afleiden.

Vervolgens werd getracht een beeld te schetsen van de klei-afzettingen in de Formatie van de Kempen. Er werd eerst nagegaan of er bepaalde zones voorkomen die meer klei bevatten. Hiertoe werden al de handboringen voorgesteld ten opzichte van een peilschaal die in zones van 1 m verdeeld werd (fig. 5.9). Per boring werden de zones waar er een kleilaag (of kleilagen) met een dikte groter dan 20 cm voorkwam, in het zwart aangeduid. Daarna werd per zone berekend en in percent uitgedrukt, hoeveel boringen dergelijke kleilagen bevatten (tabel 5.4.). Er blijken echter geen zones te zijn waar er veel meer klei in voorkomt dan in andere, alhoewel er wel een tendens tot uiting komt dat de onderste zones minder klei bevatten.

Uit fig. 5.9 werd fig. 5.10 opgesteld, waarbij de zwarte aanduidingen opnieuw de kleilagen voorstellen. Hierdoor kreeg men een duidelijk beeld van de laterale verbreiding van de bovenste kleilagen in de Formatie van de Kempen.

Wegens snelle faciëswisselingen is het echter niet mogelijk duidelijke begrenzingen op dit kaartje aan te brengen. Wel kunnen een aantal gebieden aangeduid worden waar er minder klei voorkomt, zoals in de omgeving van het Van Ganzenven, in het centrale deel van de "Kalmthoutse Heide" tussen de Vossenbergen, de Kambuusduinen en de Wylgenduinen, ten noordwesten van de Kambuusduinen en in het noorden van het studiegebied. Daar de handboringen slechts een diepte van 10 m bereiken is het niet uitgesloten dat daar dieper wel kleilagen met een dikte groter dan 20 cm voorkomen. Bovendien dient

er ook op gewezen te worden dat waar de figuur geen klei aangeeft er wel dunne kleilaagjes of -lenzen van minder dan 20 cm kunnen voorkomen.

Tabel 5.4 - Percentsgewijs voorkomen van kleilagen >20 cm in de Formatie van de Kempen per zone van 1 m

Zones (T.A.W.-peil) in m)	Aantal boringen in de Formatie van de Kempen	Aantal boringen met kleilagen >20 cm	Voorkomen kleilagen >20 cm (in %)
+24 - +23	(3)	3	(100)
+23 - +22	(8)	7	(88)
+22 - +21	19	12	63
+21 - +20	30	11	37
+20 - +19	37	15	41
+19 - +18	33	21	40
+18 - +17	67	39	58
+17 - +16	74	44	59
+16 - +15	77	45	58
+15 - +14	76	39	51
+14 - +13	69	26	38
+13 - +12	60	20	33
+12 - +11	45	7	16
+11 - +10	37	6	16
+10 - + 9	20	4	20
+ 9 - + 8	16	3	19
+ 8 - + 7	15	2	13
+ 7 - + 6	(10)	2	(20)
+ 6 - + 5	(2)	1	(5)
+ 5 - + 4	(1)	0	(0)

Van het zand dat boven de eerst voorkomende kleilaag in de Formatie van de Kempen aanwezig is, werd een isopachenkaart getekend (fig. 5.11). Naast andere factoren helpt de dikte van de zandlaag boven een kleilaag mee de grootte van de schommelingen van de grondwatertafel bepalen.

Fig. 5.2 - Legende litostratigrafische profielen

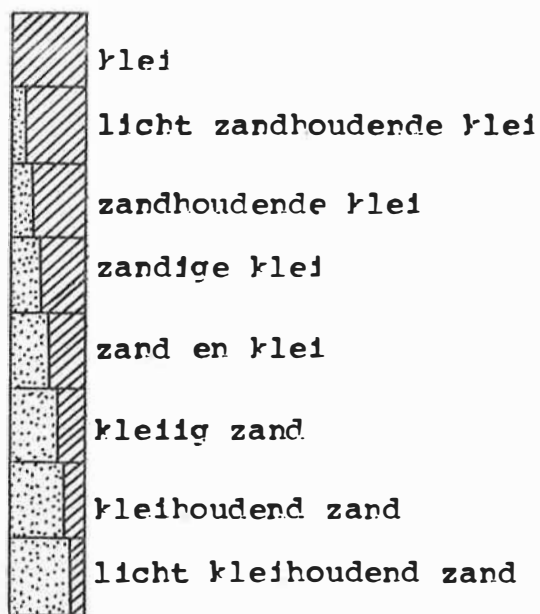
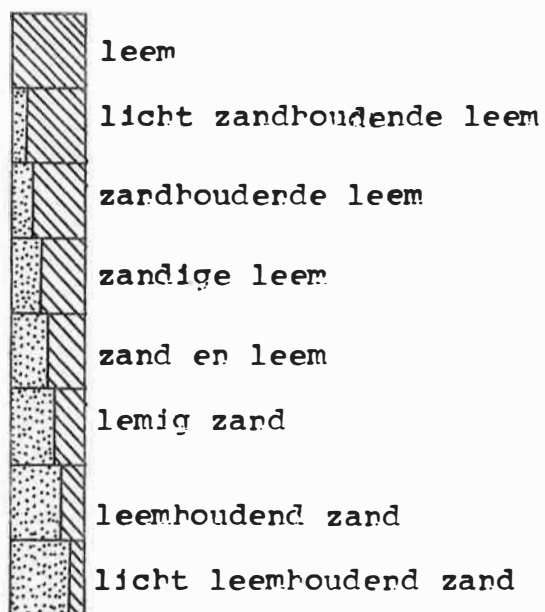
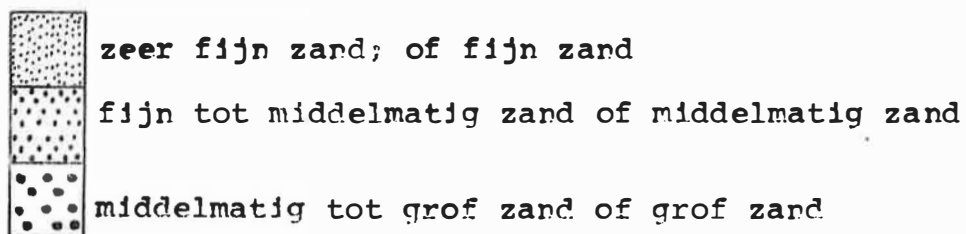
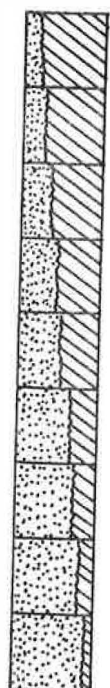
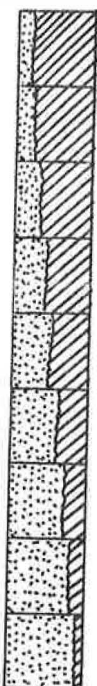


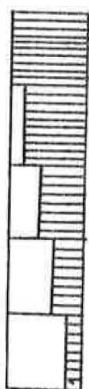
Fig. 5.2 - Legende litostratigrafische profielen (vervolg)



- leem met sporadisch een zandlensje of --laagje
- leem met enkele zandlensjes of -laagjes
- leem met zandlenzen of -lagen
- leem met veel zandlenzen of -lagen
- zand-met leemlenzen, of -lagen
- zand met veel leemlenzen, of -lagen
- zand met leemlenzen, of -lagen
- zand met enkele leemlensjes, of -lagen
- zand met sporadisch een leemlensje of -laagje



- klei met sporadisch een zandlensje, of -laagje
- klei met enkele zandlensjes of -laagjes
- klei met zandlenzen of -lagen
- klei met veel zandlenzen of -lagen
- klei- en leemlenzen, of -lagen
- klei met veel leemlenzen, of -lagen
- klei met leemlenzen, of -lagen
- klei met enkele leemlensjes, of -lagen
- klei met sporadisch een leemlensje of -laagje



- veen
- zandhoudend, leemboudend of kleihoudend veen
- zandig, lemig of kleilig veen
- venig(e) of humusrijk(e) zand, leem of klei
- veenhoudend of humushoudend zand, leem of klei

Fig. 5.2 - Legende litostratigrafische profielen (vervolg)

ooo	ooo	ooo	met veel leem-, klei- of veenbrokken
oo	oo	ee	met leem-, klei- of veenbrokken
o	o	e	met enkele leem, klei- of veenbrokken

VVV	met veel schelpen (of -fragmenten, of -gruis), schelpenrijk, schelpenniveau
V V	met schelpen (of -fragmenten, of -gruis)
V	met enkele schelpen (of een weinig -fragmenten, of -gruis)

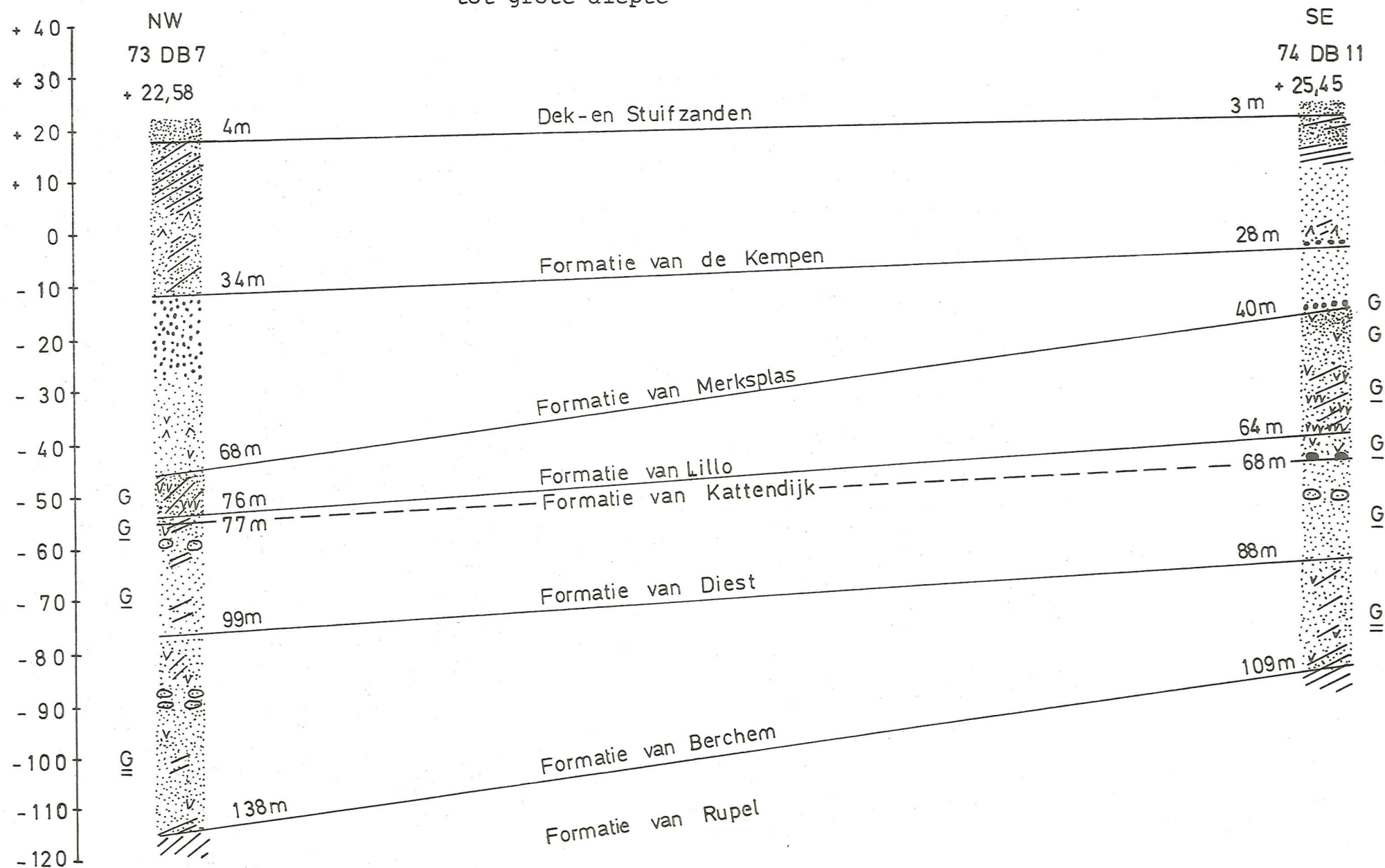
AAA	met veel houtfragmenten
A A	met houtfragmenten
A	met enkele houtfragmentjes

<u>G</u>	met veel glaukoniet of glaukonietrijk
<u>G</u>	met glaukoniet of glauconiethoudend
G	met een weinig glaukoniet of licht glauconiethoudend

ooo	grint
o.o.o.o	zandsteenbank
	geen monster

Peil TAW

Fig. 5.3 - Litostratigrafisch profiel I doorheen de boringen tot grote diepte



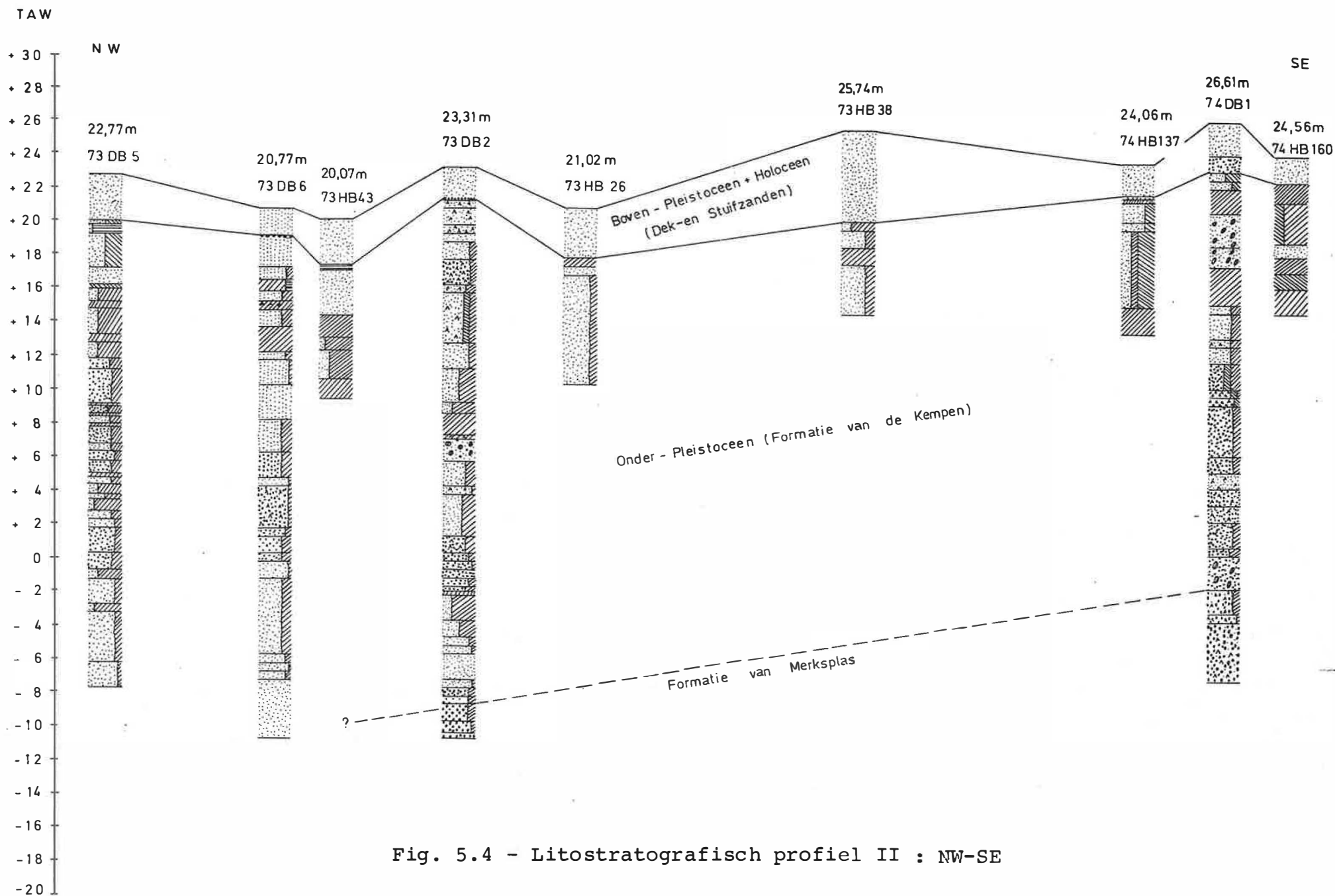


Fig. 5.4 - Litostratigrafisch profiel II : NW-SE

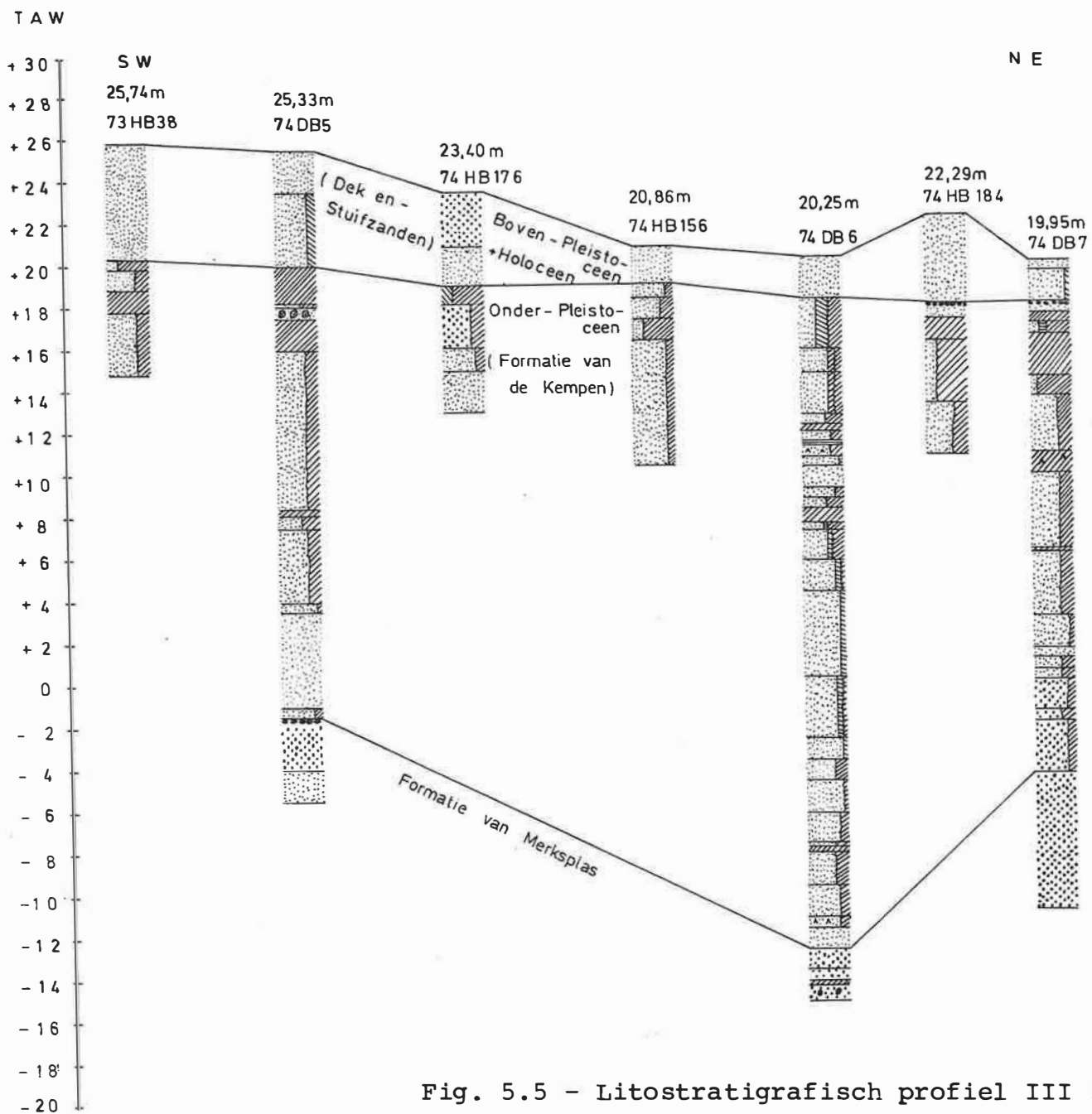


Fig. 5.5 - Litostratigrafisch profiel III : SW-NE

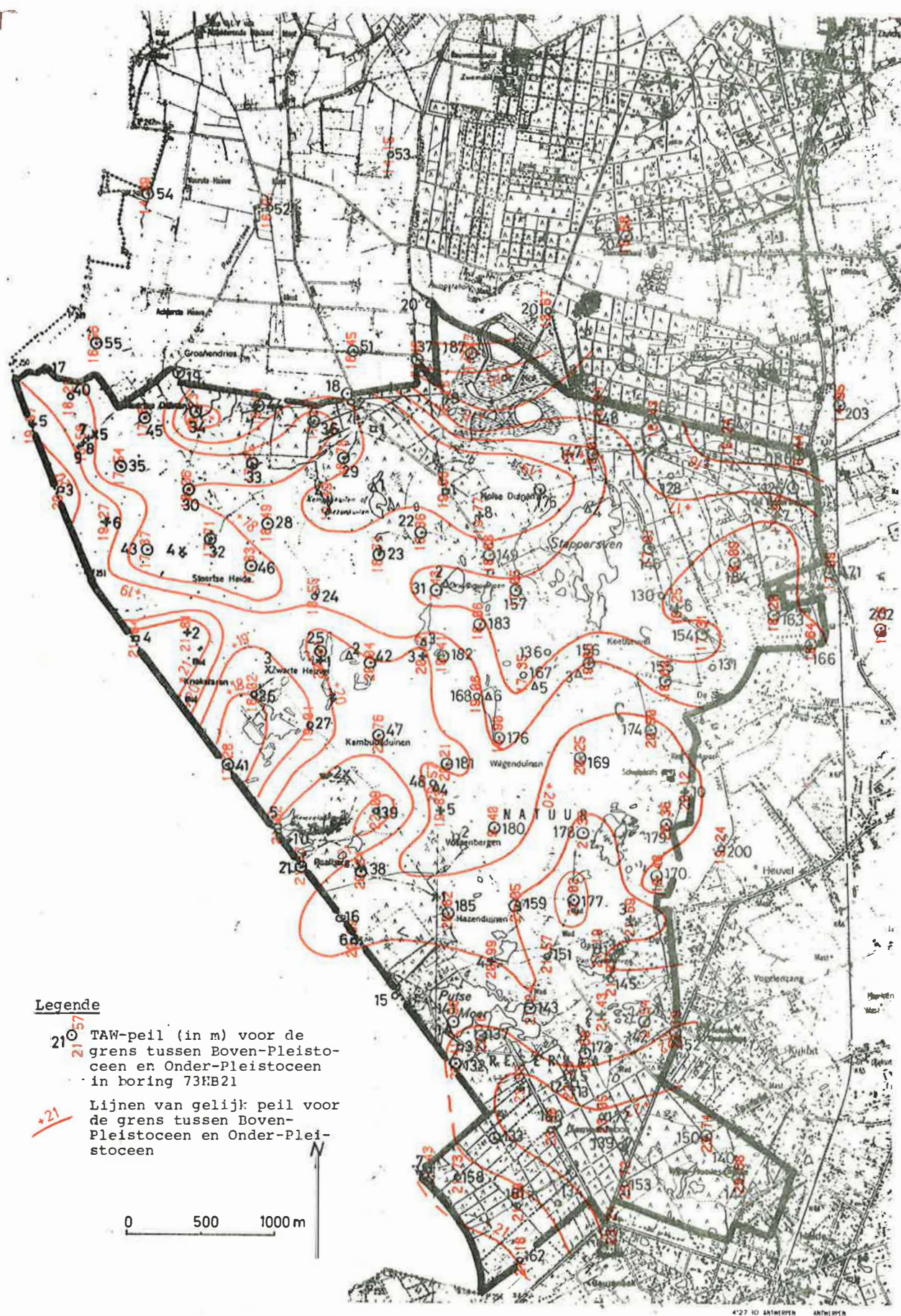
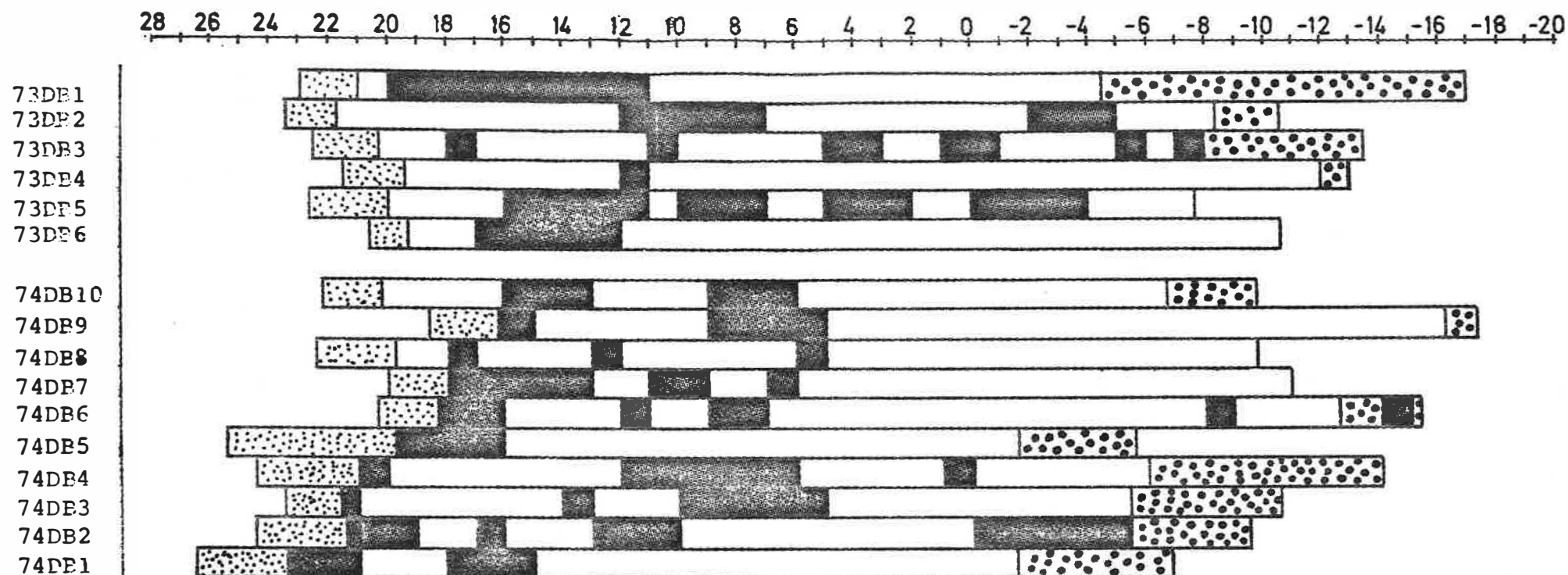


Fig. 5.6 - Isohypsen van de grens tussen Boven-Pleistoceen en Onder-Pleistoceen

PEIL T.A.W. IN METERS



Legende

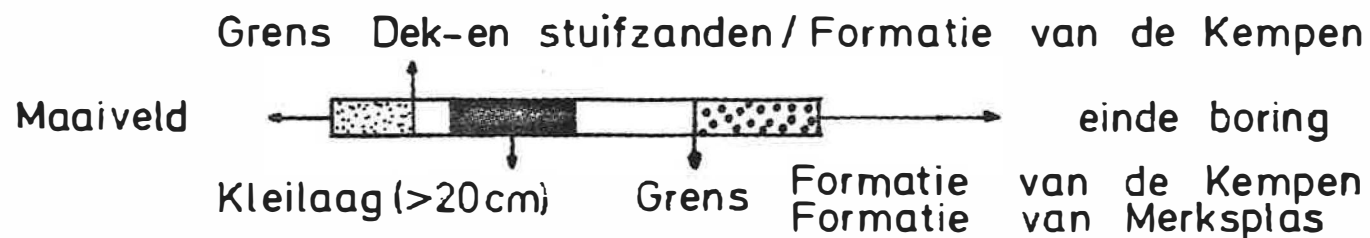


Fig. 5.8 - Voorkomen van klei in de boringen van 30 m diepte



Fig. 5.9 - Voorkomen van klei in de handboringen

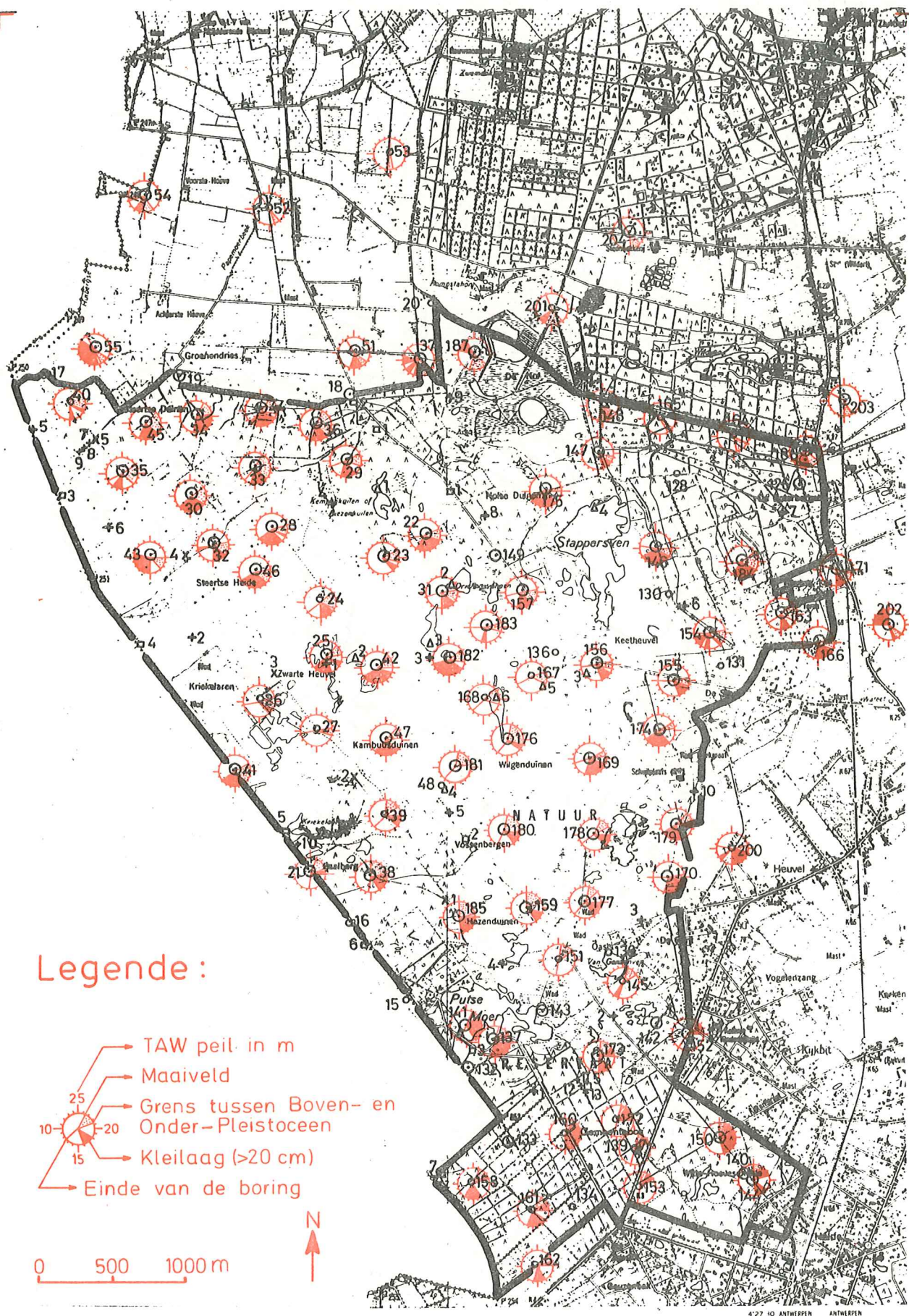


Fig. 5.10 - Laterale verbreding van de klei

F

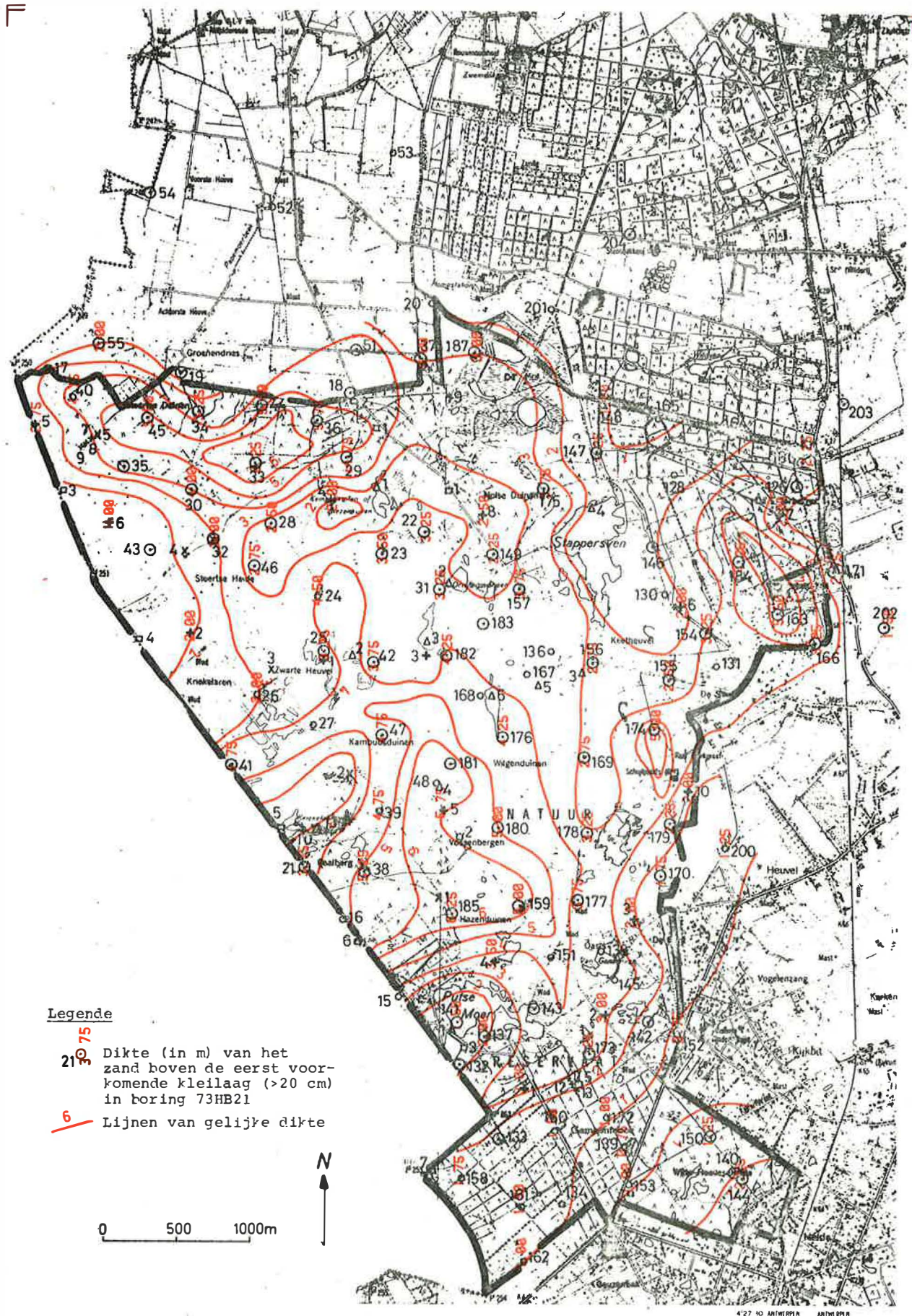


Fig. 5.11 - Isopachen van het zand boven de eerstvoorkomende kleilaag in de Formatie van de Kempen

6. SEDIMENTOLOGISCH ONDERZOEK

6.1. Inleiding

Er werden 100 granulometrische analyses uitgevoerd, waarvan 52 op monsters van de aangeboorde formaties in de boringen tot grote diepte.

De andere granulometrische analyses werden uitgevoerd op monsters van de boringen tot 30 m diepte. Per boring van 30 m diepte werden 3 monsters onderzocht, namelijk één monster van circa 1 m boven de grens tussen het Boven- en Onder-Pleistoceen, één monster van circa 20 m en een derde monster van circa 30 m onder deze grens.

6.2. Laboratoriumonderzoek

De monsters werden eerst luchtdroog gemaakt, en daarna in een mortier fijngewreven om aggregaten van leem of klei te vermijden. De fraktie groter dan 2 mm werd met een zeef afgescheiden en het gewichtsprocent grint ten opzichte van het totale monster werd bepaald.

Daarna werd 50 gram van het monster afgewogen en door natte zeving de klei- en leemfraktie afgescheiden. Met de pipet-methode van KÖHN, die gesteund is op de wet van STOKES, werd de klei- en leemfraktie opgesplitst in de frakties 50-20, 20-10, 10-2 en kleiner dan 2 μm .

De gedroogde zandfraktie (2 mm > zand > 50 μm) werd verdeeld door ze in een mechanisch schudtoestel op een reeks genormaliseerde TYLER-zeven te brengen. Bij de granulometrische analyse werd kalk en organisch materiaal niet verwijderd.

Het kalkgehalte werd volumetrisch bepaald, door meting van CO_2 dat vrijkomt bij toevoeging van HCl .

Voor de bepaling van het gehalte aan organisch materiaal werd de methode van WALKLEY en BLACK angewend. Na oxidatie van de koolstof door $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ in zuur milieu titreert men de overmaat oxidans met FeSO_4 .

De afscheiding van het glaukoniet gebeurde met een magnetische separator. De stroomintensiteit bedroeg 1A, terwijl de voorwaartse en zijdelingse helling van de magneet respectievelijk 25° en 15° bedroegen.

6.3. Verwerking van de gegevens

De resultaten van het laboratoriumonderzoek werden in aanhangsel 4 opgenomen. Van elk monster werden de resultaten van de granulometrische analyse bovendien grafisch uitgezet met op de rekenkundige ordinaat de som van de gewichtsprocenten en op de logaritmische abscis de maasopening in mm.

Naast de kumulatieve kurven werden de belangrijkste frakties, volgens de schaal van WENTWORTH, bepaald : grint (>2000 µm), zand (tussen 2000 en 50 µm en tussen 2000 en 63 µm-; leem (tussen 50 en 2 µm en tussen 63 en 2 µm) en klei (<2 m). Het zand werd verdeeld in zeer grof zand (tussen 2000 en 1000 µm), grof zand (tussen 1000 en 500 µm), middelmatig zand (tussen 500 en 250 µm), fijn zand (tussen 250 en 125 µm) en zeer fijn zand (tussen 125 en 50 en tussen 125 en 63 µm).

Er werden ook een aantal karakteristieke grootheden van de korrelverdeling bepaald. Vooreerst d_{10} of actieve korreldiameter, d_{50} of mediaan, d_{60} en d_{90} . Deze wijzen op de korreldiameters beneden dewelke het fijner materiaal respectievelijk 10, 50, 60 en 90 gewichtsprocent bedraagt.

Vervolgens werd de specifieke oppervlakte U berekend als de verhouding tussen de totale oppervlakte van de korrels van een bepaalde hoeveelheid sediment en de oppervlakte van een zelfde hoeveelheid sferen met een diameter van 1 cm van hetzelfde sediment.

Daarna werd de gelijkvormigheidsgraad bepaald die de verhouding tussen d_{10} en d_{60} weergeeft en een maat is voor de sortering van het sediment.

De volgende statistische parameters volgens FOLK en WARD (1957) werden eveneens bepaald :

- grafisch gemiddelde :

$$M_z = \frac{\phi_{16} + \phi_{84} + \phi_{50}}{3}$$

- globale grafische standaardafwijking :

$$I = \frac{\phi_{84} - \phi_{16}}{4} + \frac{\phi_{95} - \phi_5}{6,6}$$

- globale grafische scheefheid of asymmetrie :

$$Sk_I = \frac{\phi_{16} + \phi_{84} - 2\phi_{50}}{2(\phi_{84} - \phi_{16})} + \frac{\phi_5 + \phi_{95} - 2\phi_{50}}{2(\phi_{95} - \phi_5)}$$

- grafische kurtosis of steilte :

$$K_G = \frac{\phi_{95} - \phi_5}{2,44(\phi_{75} - \phi_{25})}$$

Hierin zijn ϕ_5 , ϕ_{16} , ϕ_{25} , ϕ_{50} , ϕ_{75} en ϕ_{95} de ϕ -waarden ($\phi = -\log_2$ korreldiameter in mm) die overeenstemmen met respectievelijk 5, 16, 25, 50, 75 en 95 % op de ordinaat van de kumulatieve curve.

Aan de hand van de granulometrische analyses kan men een benadering geven van de doorlatendheidscoëfficiënten. Dit gebeurde volgens twee methoden, namelijk volgens HAZEN en ERNST.

De permeabiliteit volgens HAZEN wordt gegeven door :

$$k = C d_{10}^2 (0,7 + 0,03t)$$

waarbij t = temperatuur in $^{\circ}\text{C}$

d_{10} = de aktieve korreldiameter in cm

C = een konstante in $\text{cm}^{-1} \cdot \text{sec}^{-1}$

k = permeabiliteit in cm/sec

Naar analogie met vroeger uitgevoerde studies (LEBBE, 1979) werd aan C de waarde 77 toegekend.

De permeabiliteit volgens ERNST wordt berekend als volgt :

$$k = 27.000 U^{-2} \cdot A.B.C.$$

waarin U = specifieke oppervlakte

A = korrektiefactor voor de sortering van het zand

B = korrektiefactor voor de aanwezigheid van korrels <16 μm

C = korrektiefactor voor de aanwezigheid van grint

k = permeabiliteit in m/dag.

6.4. De litostratigrafische eenheden

De verwerkte gegevens van het laboratoriumonderzoek zullen we bespreken per litostratigrafische eenheid. Daartoe werden de onderzochte monsters uit de boringen, die tot dezelfde litostratigrafische eenheid behoren, samengebracht. Enkel voor de Formatie van de Kempen is een onderscheid gemaakt tussen de gestoken en de gepulste boringen.

6.4.1. Formatie van Berchem

Tot deze eenheid behoren de monsters 73DB7/M26, M29, M30, M32, M33, M35 - 74DB11/M24, M26, M28 - 74DB12/M82. De kumulatieve kurven van deze monsters zijn voorgesteld op fig. 6.1. Volgens de indeling in frakties naar de schaal van Wentworth bestaan ze hoofdzakelijk uit fijne zanden.

Hieronder wordt het gemiddelde, de standaardafwijking op dit gemiddelde en de extreme waarden van enkele resultaten van het sedimentologisch onderzoek op deze monsters gegeven :

	Gemid- delde	Stan- daardafw.	Mini- mum	Maxi- mum
CaCO ₃ %	1,03	0,56	0,47	2,21
Humus %	0,68	0,90	0,14	3,16
Glaukoniet %	62,60	13,03	41,00	81,00
Grint %	0,81	1,20	0,08	3,63
Leem + klei %	2,75	1,68	1,30	5,72
Grafisch gemiddelde	2,29	0,17	2,05	2,51
Grafische standaard- afwijking	0,67	0,30	0,40	1,42
U-cijfer	53,93	6,28	45,04	59,94
Hazen m/d	11,21	3,84	5,25	17,47
Ernst m/d	13,41	7,86	3,14	25,82

6.4.2. Formatie van Diest

Tot deze eenheid behoren de monsters 73DB7/M24, M25 - 73DB8/M68, M69, M75 - 74DB12/M69, M72, M73, M78, M80. De kumulative kurven van deze monsters zijn voorgesteld op fig. 6.2. Volgens de indeling in frakties naar de schaal van Wentworth bestaan ze hoofdzakelijk uit fijne en middelmatige zanden.

Hieronder volgen enkele resultaten van het sedimentologisch onderzoek :

	Gemid- delde	Stan- daardafw.	Mini- mum	Maxi- mum
CaCO ₃ %	0,70	0,75	0,17	2,54
Humus %	0,61	0,36	0,12	1,16
Glaukoniet %	35,70	7,30	22,00	44,00
Grint %	0,42	0,98	0,00	3,17
Leem + klei %	6,04	4,79	1,98	16,56
Grafisch gemiddelde	2,21	0,38	1,72	3,03
Grafische stan- daardafwijking	0,88	0,45	0,37	1,92
U-cijfer	51,06	4,76	43,25	57,39
Hazen m/d	9,32	5,09	0,03	15,67
Ernst m/d (9 monsters)	10,32	5,33	2,50	17,04

6.4.3. Formatie van Kattendijk

Tot deze eenheid behoren de monsters 73DB8/M67 - 74DB12/M64, M66. De kumulative kurven van deze monsters zijn voorgesteld op fig. 6.3. Volgens de indeling in frakties naar de schaal van Wentworth bestaan ze hoofdzakelijk uit fijne zanden.

Hieronder volgen enkele resultaten van het sedimentologisch onderzoek :

	Gemid- delde	Stan- daardafw.	Mini- mum	Maxi- mum
CaCO ₃ %	10,07	10,91	1,19	22,25
Humus %	1,09	0,48	0,54	1,44
Glaukoniet %	16,33	4,62	11,00	19,00
Grint %	8,08	8,23	0,16	16,58
Leem + klei %	5,93	3,23	3,86	9,66
Grafisch gemiddelde	2,14	0,15	2,05	2,32
Grafische standaard- afwijking	1,01	0,63	0,54	1,74
U-cijfer	52,87	5,10	47,16	56,91
Hazen m/d	8,30	5,64	1,80	11,91
Ernst m/d	7,08	4,81	1,57	10,38

6.4.4. Formatie van Lillo

Tot deze eenheid behoren de monsters 73DB8/M64 - 74DB12/M49, M55, M59, M60, M61. De kumulatieve kurven van deze monsters zijn voorgesteld op fig. 6.4. Volgens de indeling in frakties naar de schaal van Wentworth bestaan ze hoofdzakelijk uit fijne zanden.

Hieronder volgen enkele resultaten van het sedimentologisch onderzoek :

	Gemid- delde	Stan- daardafw.	Mini- mum	Maxi- mum
CaCO ₃ %	14,23	6,27	4,78	21,57
Humus %	0,83	1,14	0,00	2,32
Glaukoniet %	13,08	6,73	6,90	25,00
Grint %	0,36	0,54	0,00	1,43
Leem + klei %	11,30	8,96	1,56	24,30
Grafisch gemiddelde	3,08	0,52	2,44	3,81
Grafische stan- daardafwijking	1,16	0,80	0,30	2,09
U-cijfer	67,77	8,57	55,90	77,90
Hazen m/d	4,62	5,22	0,01	11,06
Ernst m/d (3 monsters)	8,20	6,16	2,72	14,87

6.4.5. Formatie van Merksplas

Tot deze eenheid behoren de monsters 73DB1/M65 - 73DB2/M64 - 73DB3/M66 - 73DB5/M61 - 73DB6/M63 - 73DB8/M30, M37, M47, M54, M61 - 74DB1/M67 - 74DB2/M67 - 74DB3/M64 - 74DB4/M68 - 74DB5/M62 - 74DB10/M64 - 74DB12/M34, M40, M44. De kumulatieve kurven van deze monsters zijn voorgesteld op fig. 6.5. Volgens de indeling in frakties naar de schaal van Wentworth bestaan ze hoofdzakelijk uit middelmatige zanden.

Hieronder volgen enkele resultaten van het sedimentologisch onderzoek :

	Gemid- delde	Stan- daardafw.	Mini- mum	Maxi- mum
CaCO ₃ %	1,22	3,94	0,00	16,84
Humus %	0,18	0,65	0,00	2,84
Glaukoniet %	0,97	1,29	0,07	5,10
Grint %	0,63	2,62	0,00	11,46
Leem + klei %	1,45	1,00	0,36	3,46
Grafisch gemiddelde	1,94	0,44	0,85	2,67
Grafische standaard- afwijking	0,53	0,16	0,37	0,92
U-cijfer	44,31	10,50	25,23	65,97
Hazen m/d	20,38	12,47	8,48	54,02
Ernst m/d	28,78	15,45	7,32	66,44

6.4.6. Formatie van de Kempen : kleimonsters van de gestoken boringen

Tot deze eenheid behoren de monsters 73DB8/M9, M13 - 74DB12/M8, M13. De kumulatieve kurven van deze monsters zijn voorgesteld op fig. 6.6. Volgens de indeling in frakties naar de schaal van Wentworth bestaan ze hoofdzakelijk uit leem + klei.

Hieronder volgen enkele resultaten van het sedimentologisch onderzoek :

	Gemid- delde	Stan- daardafw.	Mini- mum	Maxi- mum
CaCO ₃ %	0,13	0,06	0,08	0,21
Humus %	1,59	1,75	0,00	4,06
Glaukoniet %	1,88	0,54	1,20	2,50
Grint %	0,00	0,00	0,00	0,00
Leem + klei %	70,89	10,14	59,90	84,40
Grafisch gemiddelde	6,62	0,86	5,93	7,84
Graifische standaard- afwijking	3,11	0,40	2,65	3,52
U-cijfer	103,72	20,37	80,12	126,46
Hazen m/d	0,00	0,00	0,00	0,00
Ernst m/d	niet bere- kend	niet bere- kend	niet be- rekend	niet bere- kend

6.4.7. Formatie van de Kempen : zandmonsters van de gestoken boringen

Tot deze eenheid behoren de monsters 73DB8/M12, M14, M17, M25, M28 - 74DB12/M10, M19, M25, M32. De kumulatieve kurven van deze monsters zijn voorgesteld op fig. 6.7. Volgens de indeling in frakties naar de schaal van Wentworth bestaan ze hoofdzakelijk uit middelmatige, fijne en zeer fijne zanden.

Hieronder volgen enkele resultaten van het sedimentologisch onderzoek :

	Gemid- delde	Stan- daardafw.	Mini- mum	Maxi- mum
CaCO ₃ %	0,12	0,06	0,04	0,25
Humus %	1,14	1,66	0,00	4,36
Glaukoniet %	1,07	0,98	0,23	2,80
Grint %	0,02	0,04	0,00	0,13
Leem + klei %	8,77	8,43	1,46	21,36
Grafisch gemiddelde	2,37	0,74	1,57	3,88
Grafische standaard- afwijking	1,02	0,71	0,35	1,98
U-cijfer	59,27	21,01	35,40	94,69
Hazen m/d	11,24	10,67	0,01	24,65
Ernst m/d (6 monsters)	20,06	12,66	1,92	36,16

6.4.8. Formatie van de Kempen : zandmonsters van 30 m onder de grens Boven-Pleistoceen/Onder-Pleistoceen, uit de gepulste boringen

Tot deze eenheid behoren de monsters 73DB4/M65 - 74DB6/M65 - 74DB7/M62 - 74DB8/M66 - 74DB9/M66. De kumulatieve kurven van deze monsters zijn voorgesteld op fig. 6.8. Volgens de indeling in frakties naar de schaal van Wentworth bestaan ze hoofdzakelijk uit fijne zanden.

Hieronder volgen enkele resultaten van het sedimentologisch onderzoek :

	Gemid- delde	Stan- daardafw.	Mini- mum	Maxi- mum
CaCO ₃ %	0,17	0,10	0,00	0,24
Humus %	0,19	0,28	0,00	0,68
Glaukoniet %	0,22	0,14	0,07	0,36
Grint %	0,03	0,04	0,00	0,08
Leem + klei %	2,45	1,21	0,47	3,78
Grafisch gemiddelde	2,33	0,21	2,09	2,53
Grafische standaard- afwijking	0,48	0,08	0,41	0,62
U-cijfer	55,06	6,41	47,07	60,68
Hazen m/d	10,23	1,08	9,05	11,63
Ernst m/d	12,90	2,97	10,17	16,81

6.4.9. Formatie van de Kempen : zandmonsters van 20 m onder de grens Boven-Pleistoceen/Onder-Pleistoceen, uit de gepulste boringen

Tot deze eenheid behoren de monsters 73DB1/M45 - 73DB2/M44 - 73DB3/M46 - 73DB4/M45 - 73DB5/M45 - 73DB6/M44 - 74DB1/M47 - 74DB2/M47 - 74DB3/M44 - 74DB4/M48 - 74DB5/M52 - 74DB6/M45 - 74DB7/M45 - 74DB8/M46 - 74DB9/M46 - 74DB10/M45. De kumulatieve kurven van deze monsters zijn voorgesteld op fig. 6.9. Volgens de indeling in frakties naar de schaal van Wentworth bestaan ze hoofdzakelijk uit fijn zand.

Hieronder volgen enkele resultaten van het sedimentologisch onderzoek :

	Gemid- delde	Stan- daardafw.	Mini- mum	Maxi- mum
CaCO ₃ %	0,13	0,12	0,00	0,27
Humus %	0,33	0,46	0,00	1,76
Glaukoniet (3 monsters)	0,25	0,17	0,08	0,42
Grint %	0,02	0,05	0,00	0,17
Leem + klei %	5,01	5,78	1,26	22,02
Grafisch gemiddelde	2,47	0,41	1,85	3,34
Grafische standaard- afwijking	0,71	0,47	0,32	2,03
U-cijfer	58,43	10,47	41,94	75,80
Hazen m/d	8,03	3,94	0,02	12,44
Ernst m/d	11,53	4,27	4,23	19,97

6.4.10. Dek- en stuifzanden

Tot deze eenheid behoren de monsters 73DB1/M3 - 73DB2/M2 - 73DB3/M4 - 73DB4/M3 - 73DB5/M4 - 73DB6/M2 - 73DB8/M6 - 74DB1/M5 - 74DB2/M5 - 74DB3/M2 - 74DB4/M6 - 74DB5/M10 - 74DB6/M3 - 74DB7/M3 - 74DB8/M4 - 74DB9/M4 - 74DB10/M5 - 74DB12/M5. De kumulatieve kurven van deze monsters zijn voorgesteld op fig. 6.10. Volgens de indeling in frakties naar de schaal van Wentworth bestaan ze hoofdzakelijk uit fijn zand.

Hieronder volgen enkele resultaten van het seidentologisch onderzoek :

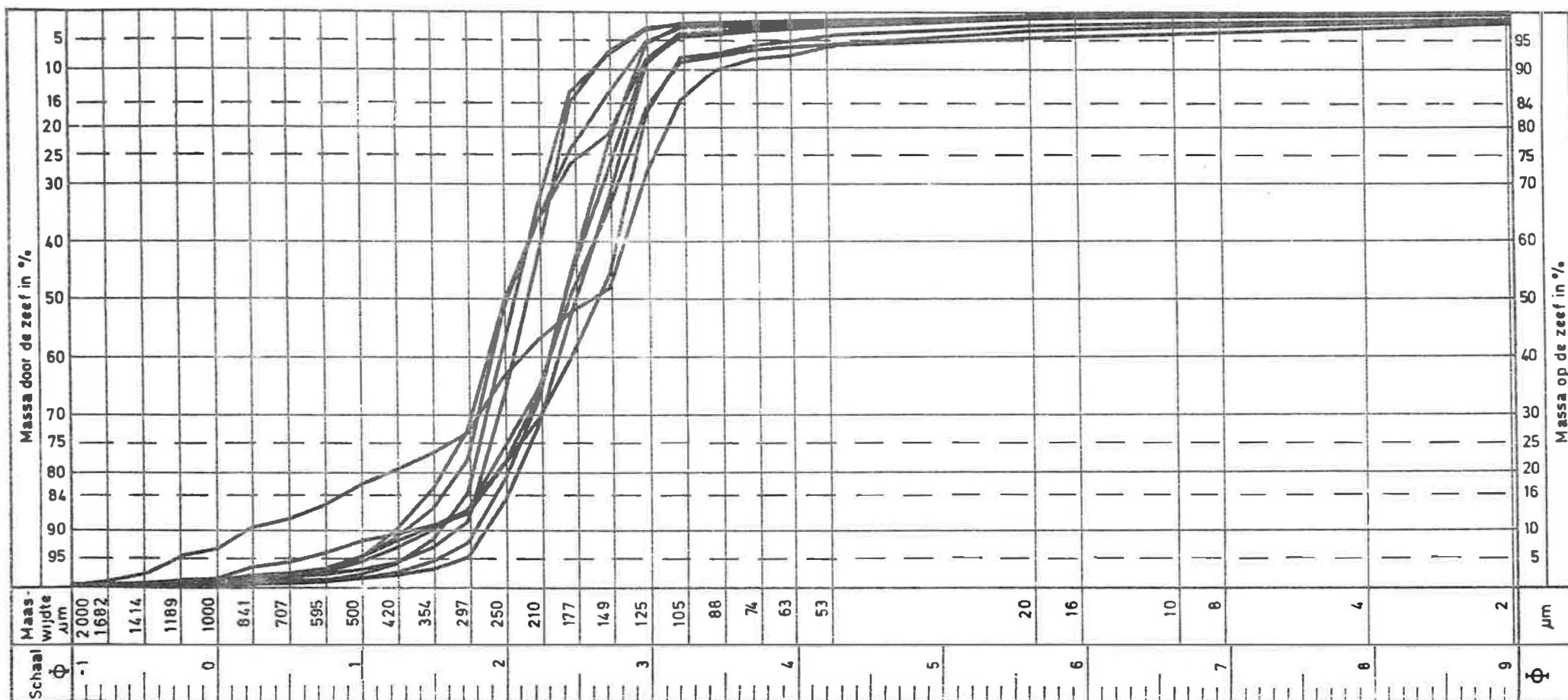
	Gemid. delde	Stan- daardafw.	Mini- mum	Maxi- mum
CaCO ₃ %	0,14	0,12	0,00	0,31
Humus %	0,41	0,54	0,00	1,88
Glaukoniet %	0,35	0,28	0,14	0,81
Grint %	0,01	0,02	0,00	0,07
Leem + klei %	2,42	1,65	0,46	6,08
Grafisch gemiddelde	2,39	0,17	2,13	2,86
Grafische standaard- afwijking	0,66	0,10	0,51	0,88
U-cijfer	59,22	9,02	47,45	82,89
Hazen m/d	7,95	2,80	2,21	11,49
Ernst m/d	10,35	4,24	3,62	18,42

KORRELVERDELING

RIJKSUNIVERSITEIT GENT

GEOLOGISCH INSTITUUT

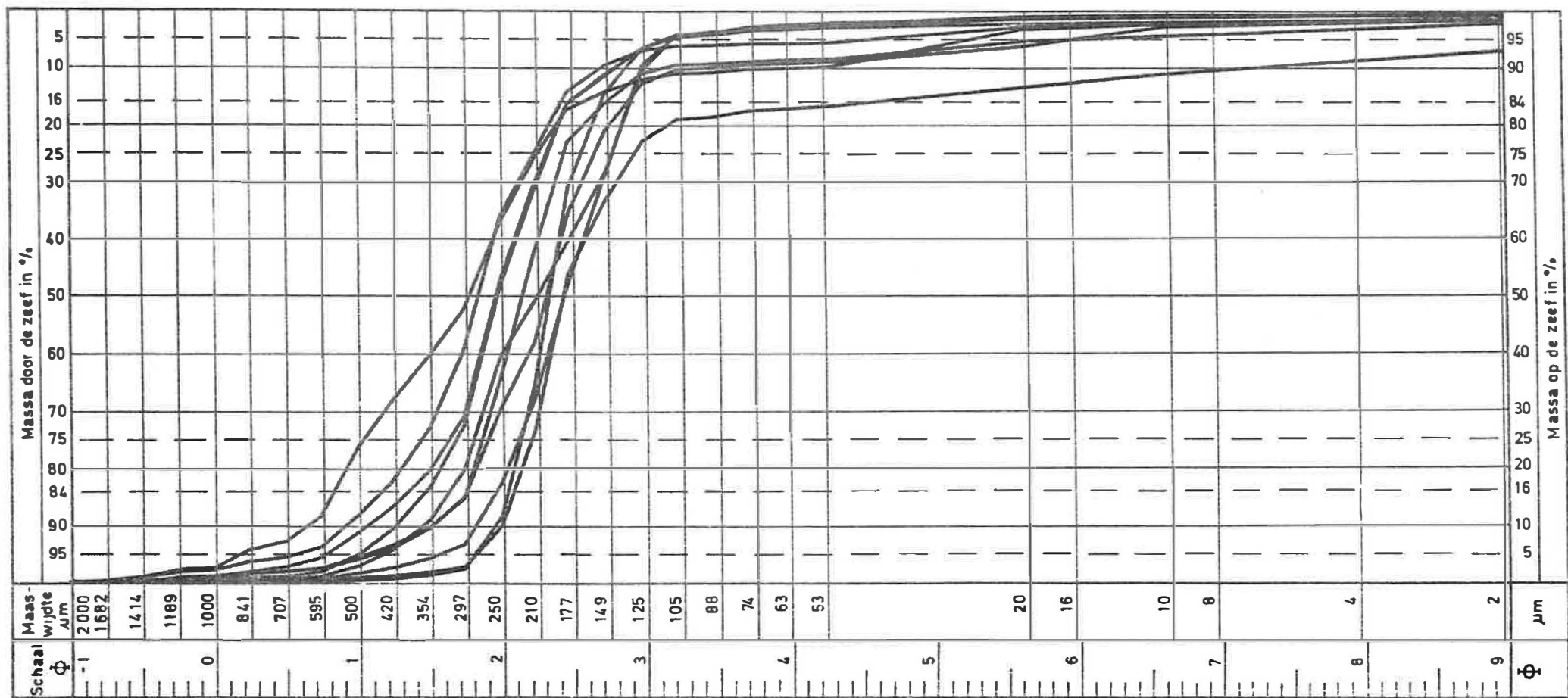
Fig. 6.1 - Kumulatieve kurven van de monsters van de Formatie van Berchem



KORRELVERDELING

RIJKSUNIVERSITEIT GENT
GEOLOGISCH INSTITUUT

Fig. 6.2 - Kumulatieve kurven van de monsters van de Formatie van Diest

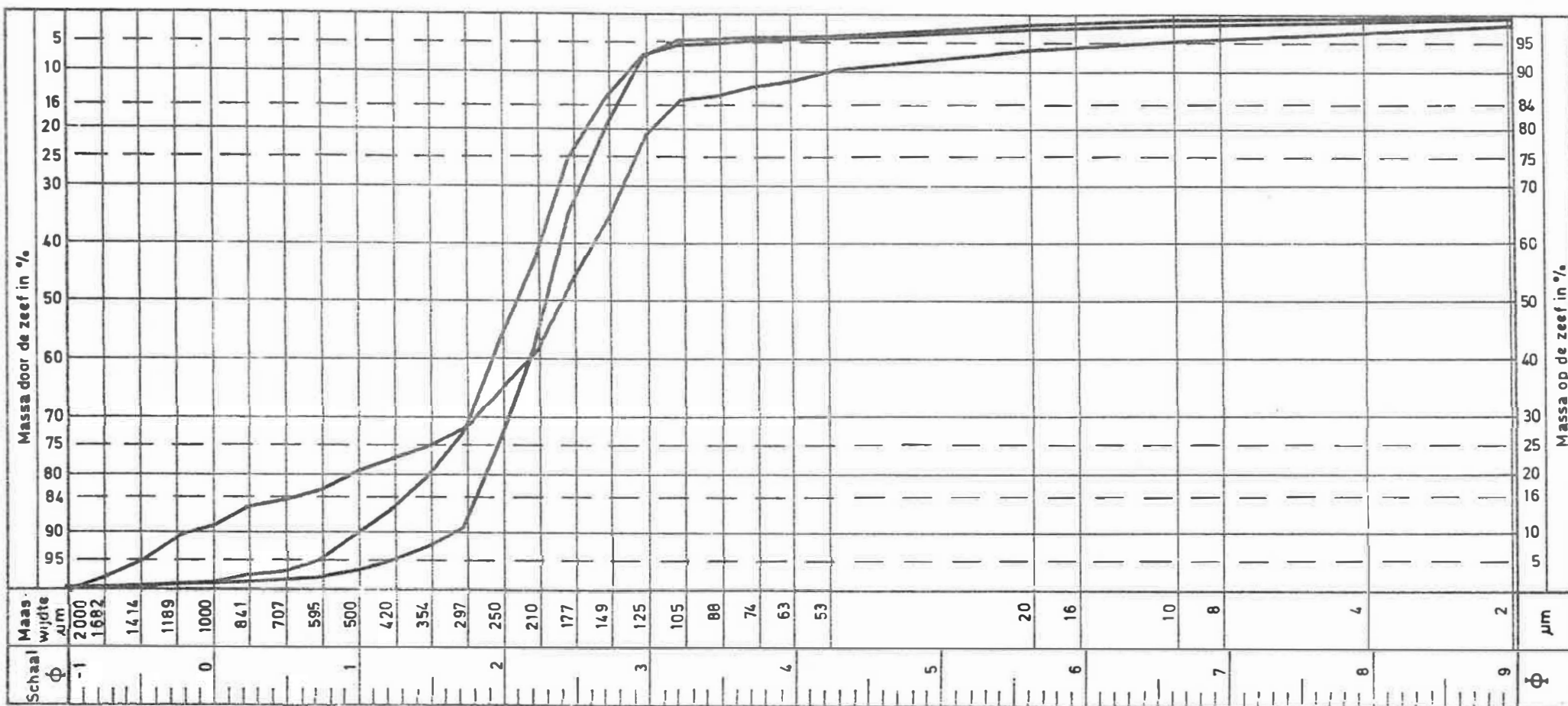


KORRELVERDELING

RIJSUNIVERSITEIT GENT

GEOLOGISCH INSTITUUT

Fig. 6.3 - Kumulatieve kurven van de monsters van de Formatie van Kattendijk

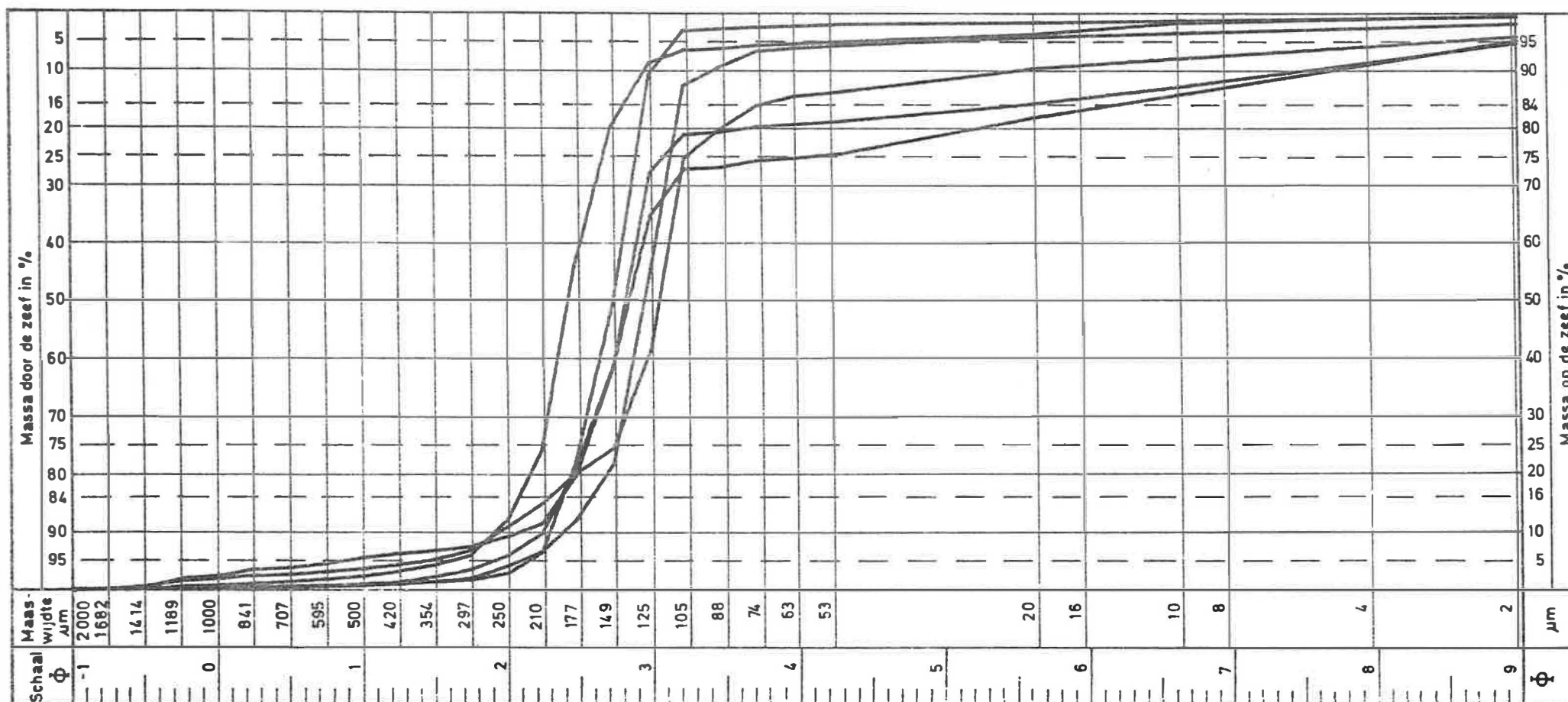


KORRELVERDELING

RIJKSUNIVERSITEIT GENT

GEOLOGISCH INSTITUUT

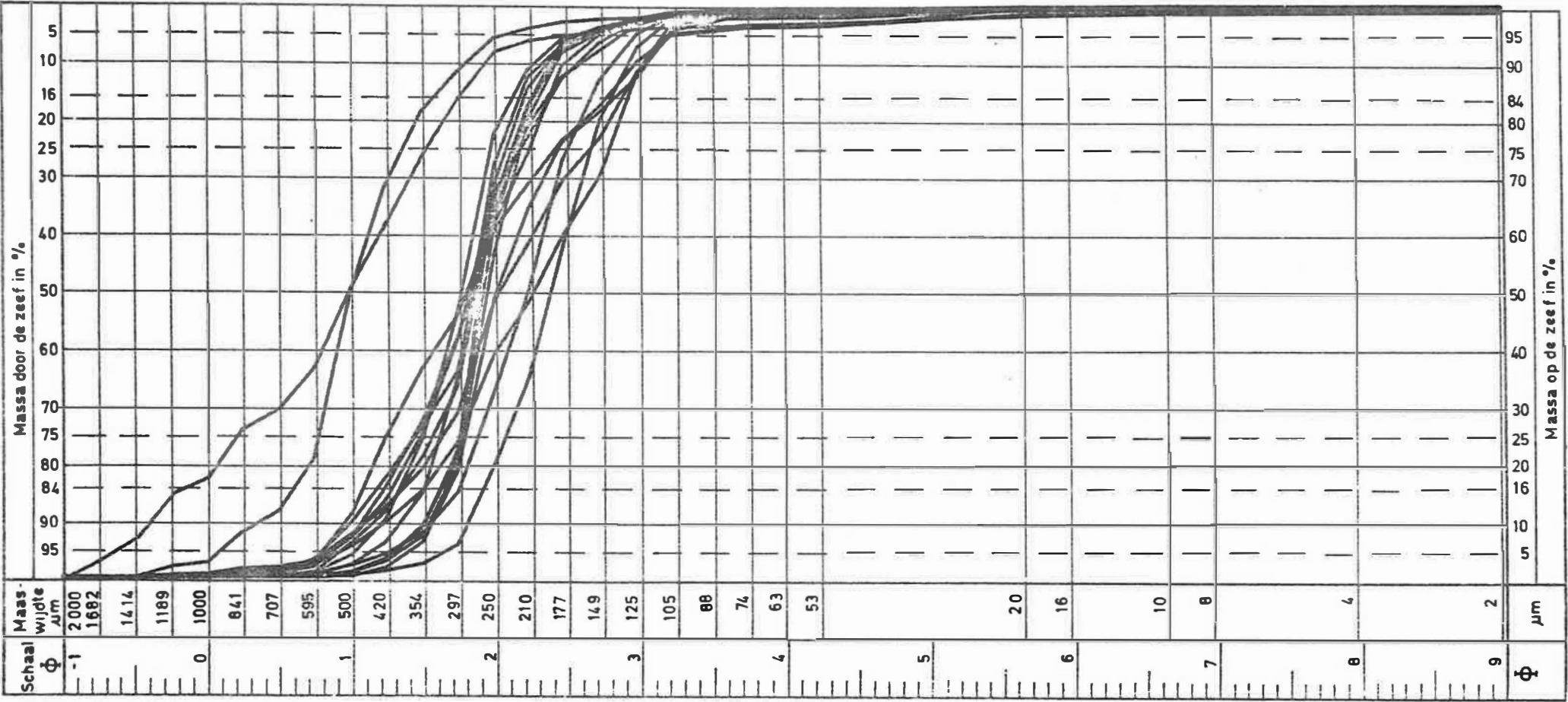
Fig. 6.4 - Kumulatieve kurven van de monsters van de Formatie van Lillo



KORRELVERDELING

RIJKSUNIVERSITEIT GENT
GEOLOGISCH INSTITUUT

Fig. 6.5 - Kumulatieve kurven van de monsters van de Formatie van Merksplas

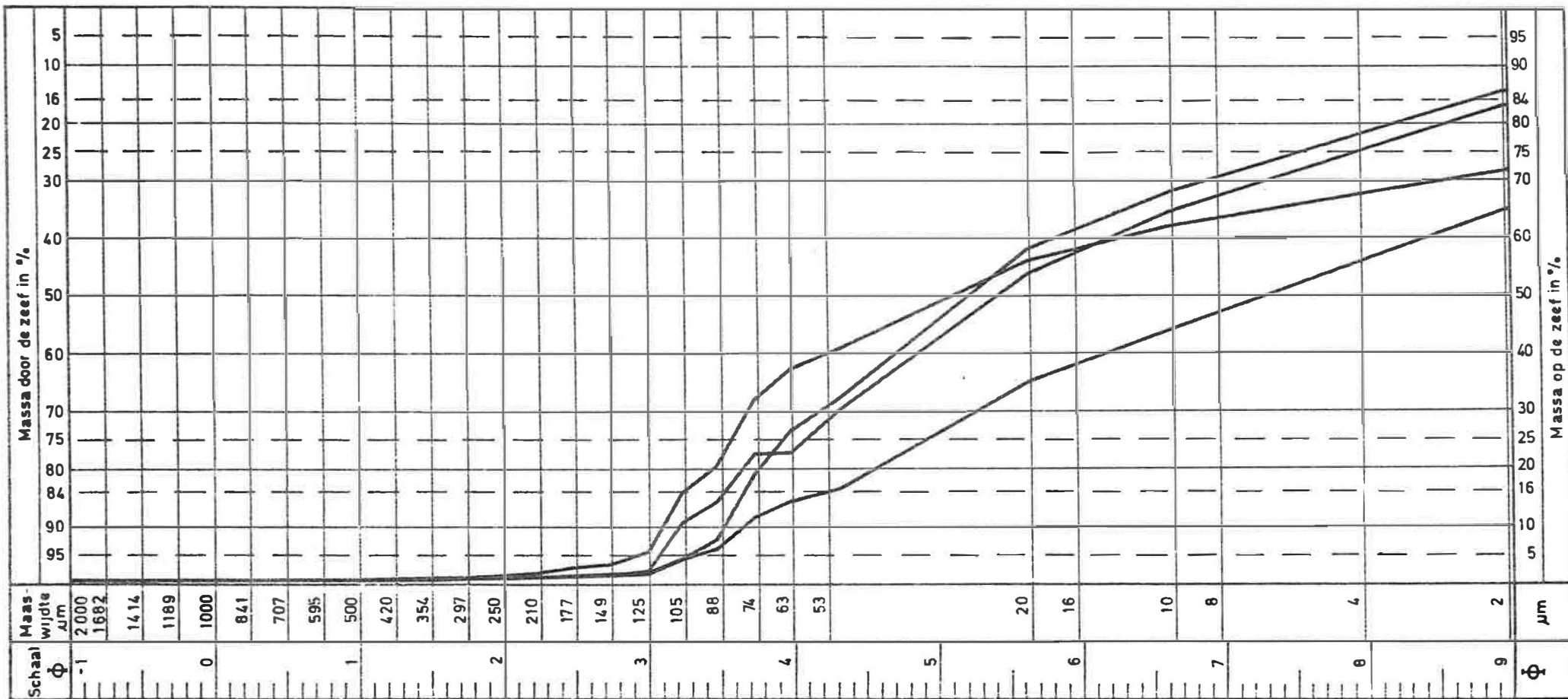


KORRELVERDELING

RIKSUNIVERSITEIT GENT

GEOLOGISCH INSTITUUT

Fig. 6.6 - Kumulatieve kurven van de kleimonsters van de Formatie van de Kempen uit de gestoken boringen

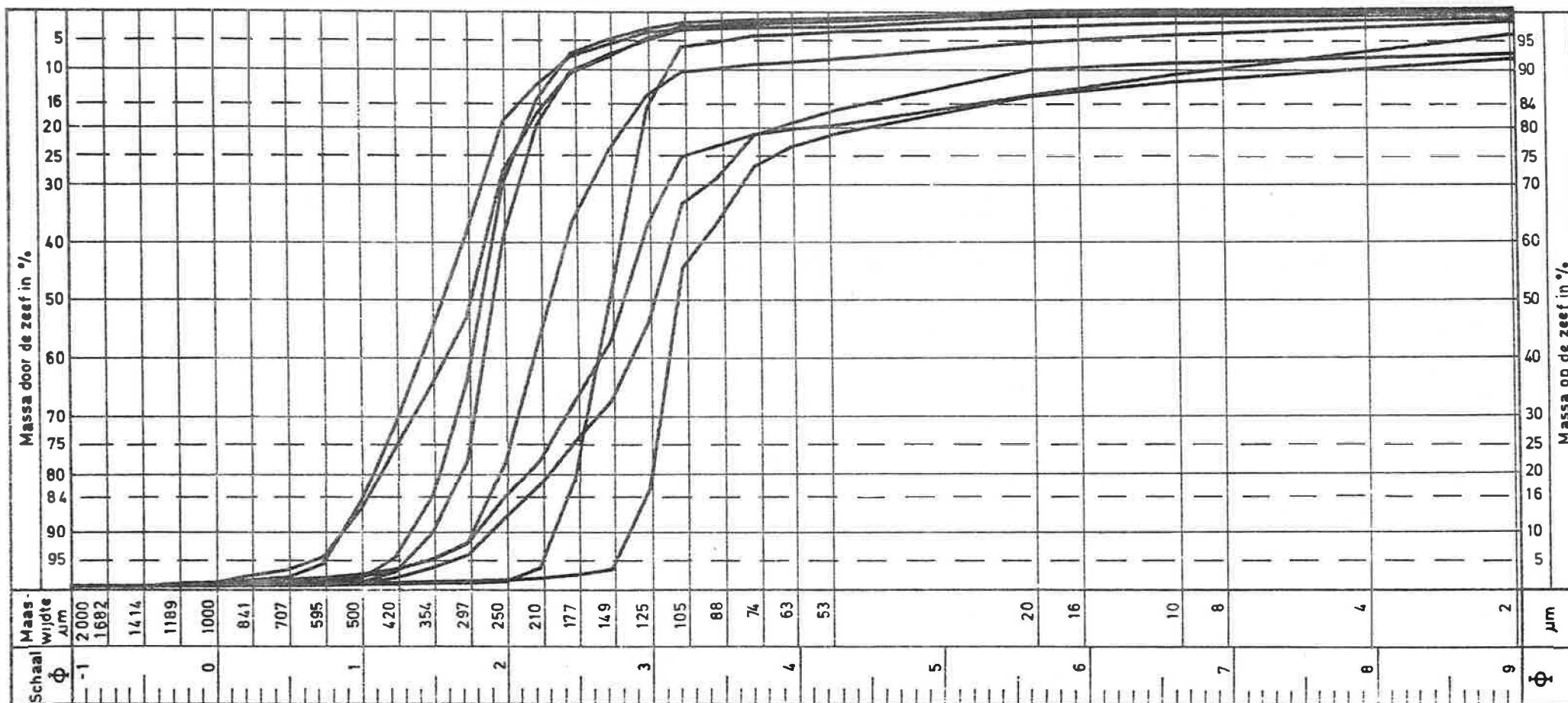


KORRELVERDELING

RIJSUNIVERSITEIT GENT

GEOLOGISCH INSTITUUT

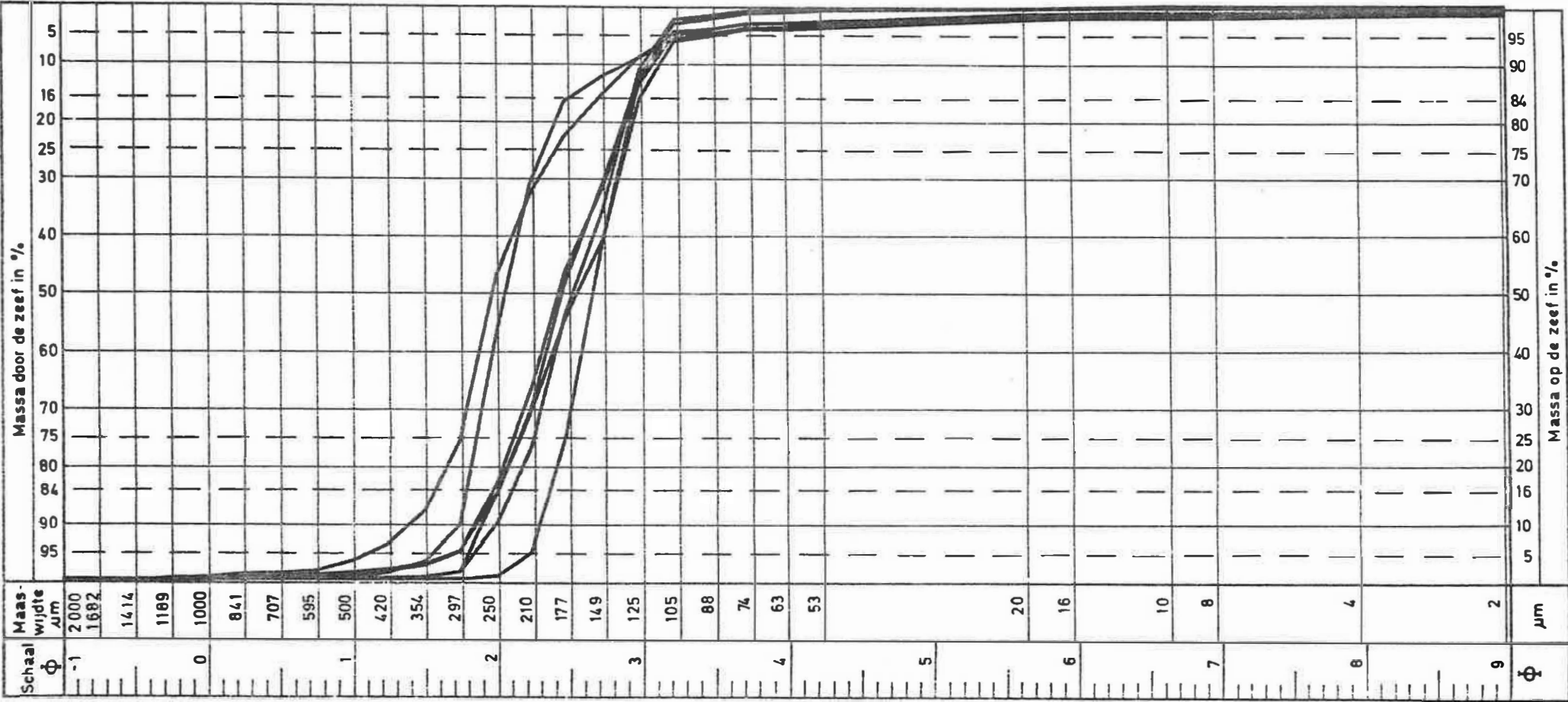
Fig. 6.7 - Kumulatieve kurven van de zandmonsters van de Formatie van de Kempen uit de gestoken boringen



KORRELVERDELING

RIJKSUNIVERSITEIT GENT
GEOLOGISCH INSTITUUT

Fig. 6.8 - Kumulatieve kurven van de zandmonsters van de Formatie van de Kempen uit de gepulste boringen, 30 m onder de grens Boven-Pleistoceen/Onder-Pleistoceen

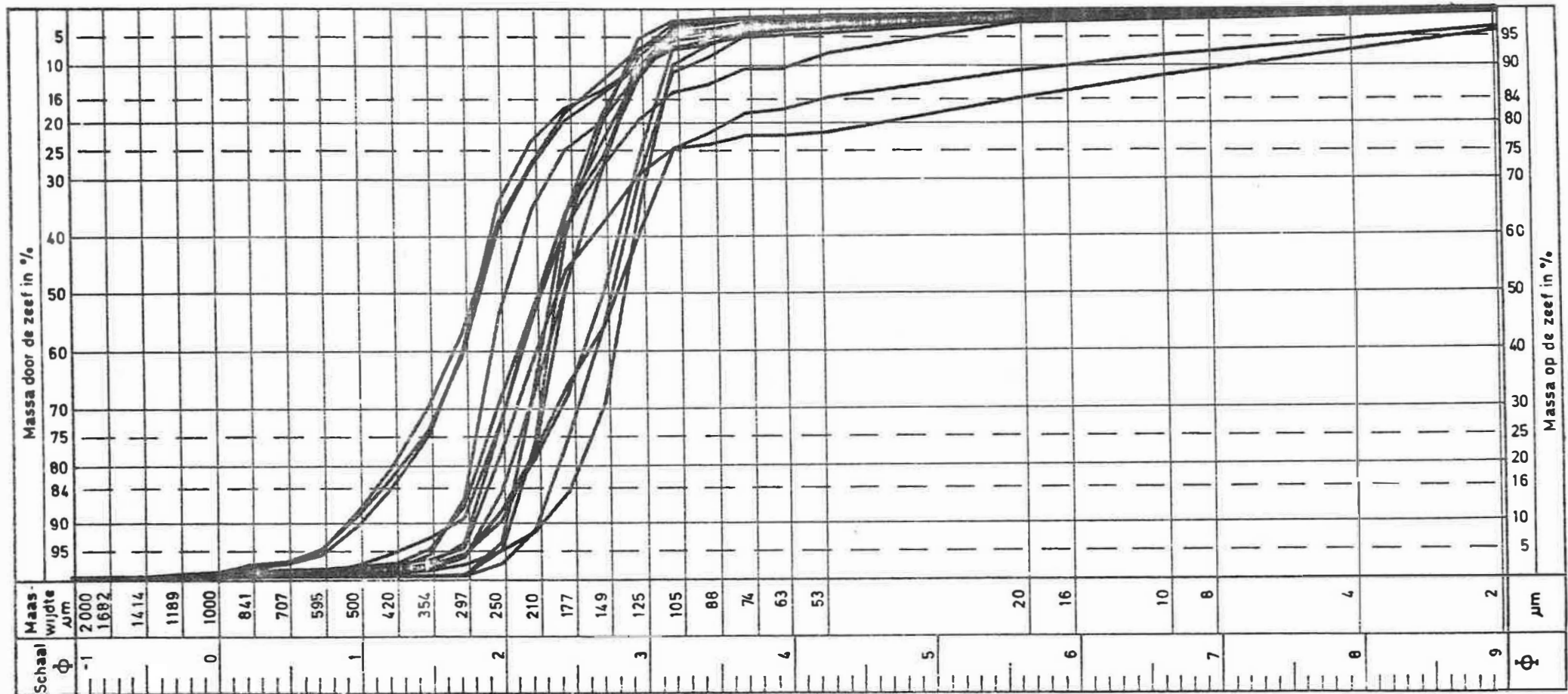


KORRELVERDELING

RIJKSUNIVERSITEIT GENT

GEOLOGISCH INSTITUUT

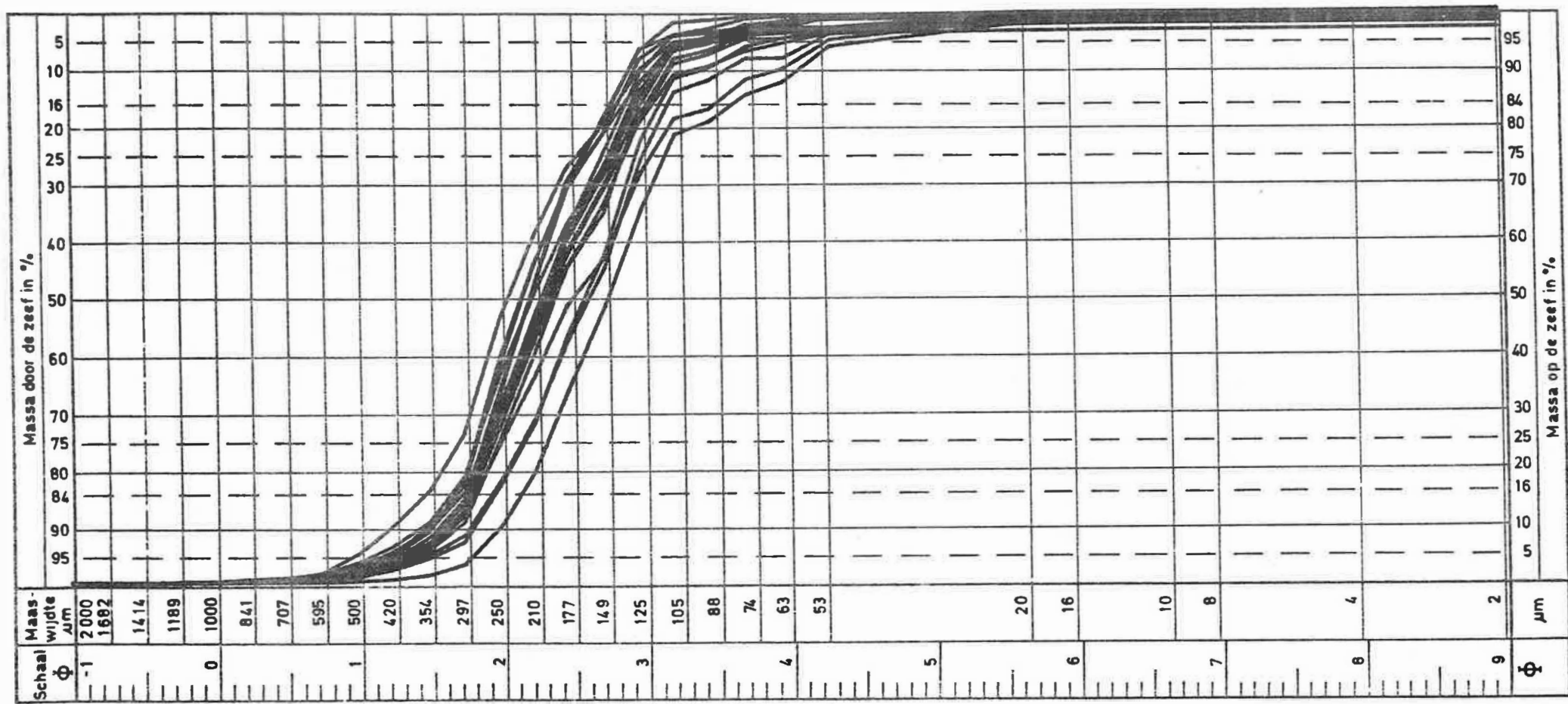
Fig. 6.9 - Kumulatieve kurven van de zandmonsters van de Formatie van de Kempen uit de gepulste boringen, 20 m onder de grens Boven-Pleistoceen/Onder-Pleistoceen



KORRELVERDELING

RIJKSUNIVERSITEIT GENT
GEOLOGISCH INSTITUUT

Fig. 6.10 - Kumulatieve kurven van de monsters van de dek- en stuifzanden



6.5. Hydrolitologische profielen

De hydraulische parameters in functie van de granulometrische gegevens werden voorgesteld in hydrolitologische profielen.

Een hydrolitologisch profiel van een boring is een grafische voorstelling van de veldbeschrijving en van de resultaten van de laboratoriumproeven uitgevoerd op monsters representatief voor de litostratigrafische eenheden. De litologische en hydraulische parameters van elke eenheid afzonderlijk komen hierdoor tot uiting ten opzichte van het volledige boorprofiel. Bijgevolg krijgt men een beeld van het verloop van deze parameters met de diepte.

Van de boringen tot grote diepte werd een dergelijk profiel getekend. Op fig. 6.11 stelt het profiel de gestoken boring 74DB12 van 0 tot 40 m diepte voor, d.w.z. tot aan de basis van de Formatie van Merksplas. Op fig. 6.12 is het vervolg van deze boring uitgezet. Deze boring eindigt op circa 90 m diepte; van die diepte tot aan de Formatie van Rupel werd het profiel uitgezet van de gespoelde boring 74DB11, die op slechts 50 m van de 74DB12 gelegen is.

Op fig. 6.13 werd de gestoken boring 73DB8 voorgesteld tot een diepte van 67 m, d.w.z. tot 3 m boven de basis van de Formatie van Merksplas. Op fig. 6.14 is het vervolg van de boring uitgezet. Hierdoor kwam op deze figuur de overgang Kwartair-Tertiair tot uiting. Waar deze boring eindigt (circa 90 m diep), werd overgegaan op de gespoelde boring 73DB7, die op slechts 50 m van de 73DB8 gelegen is, en die de Formatie van Rupel bereikt.

Deze profielen werden getekend door middel van een grafische tafelrekenmachine (TEKTRONIX 4051). De diepte in meters ten opzichte van het maaiveld wordt op de linkerschaal aangegeven, het peil in meters op de rechterschaal. De veldbeschrijving wordt gesynthetiseerd weergegeven onder de vorm van een litostratigrafische kolom. Daarnaast worden de resultaten van de granulometrische analyse voorgesteld. De onderzochte monsters worden in volle lijn aangeduid, terwijl de eenheden waarvoor ze representatief zijn in stippellijn. De ϕ_5 , ϕ_{16} , ϕ_{25} , ϕ_{50} , ϕ_{75} , ϕ_{84} , ϕ_{95} percentielen worden aangeduid door volle verticale lijnen tussen de grenzen van elke eenheid. Waarden groter dan 6ϕ zijn niet aangeduid.

Voor elke eenheid is het kalkgehalte en het grintgehalte (>2 mm) aangegeven, de permeabiliteit k , berekend volgens de formule van HAZEN en volgens de aangepaste formule van ERNST, de specifieke oppervlakte U en de globale grafische standaardafwijking.

Onder de kolom van de permeabiliteiten is de transmissiviteit kD van de boring, volgens de methode van HAZEN en volgens de methode van ERNST, aangegeven. Dit is de hoeveelheid water die per tijdseenheid door een verticale doorsnede van 1 m breedte vloeit onder een stijghoogtegradiënt gelijk aan de eenheid en dit bij de temperatuur van het grondwater. Ze wordt meestal uitgedrukt in m^2/dag . De transmissiviteit kD wordt berekend door het produkt te maken van de permeabiliteit met de totale dikte van de watervoerende laag. De totale transmissiviteit van de boring wordt bekomen door de som te maken van de transmissiviteiten van de eenheden, berekend uit de permeabiliteiten van de representatieve monsters.

De indeling in formaties werd ook in de profielen opgenomen.

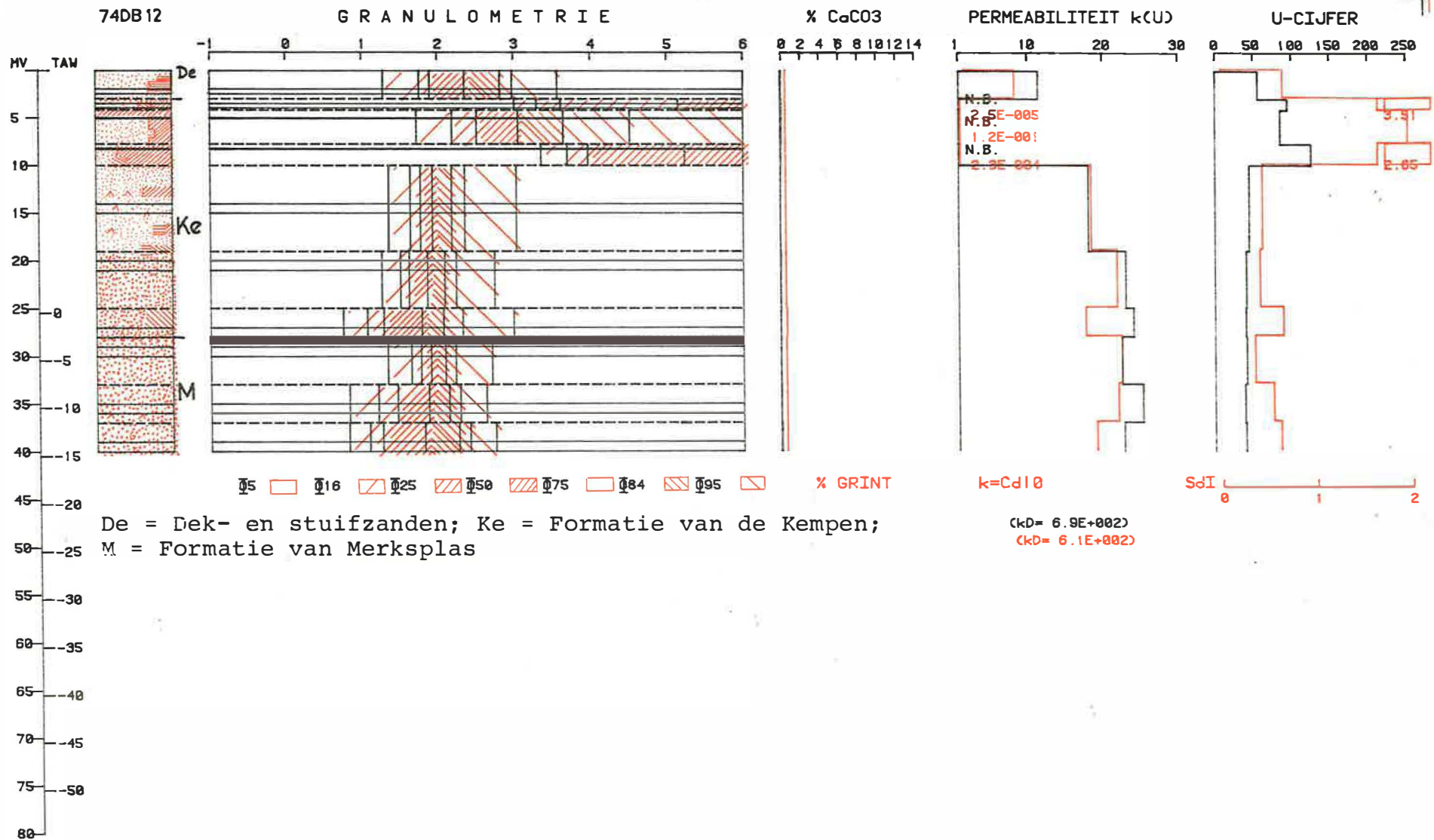


Fig. 6.11 - Hydrolitologisch profiel van de boring 74DB12 (1e deel)

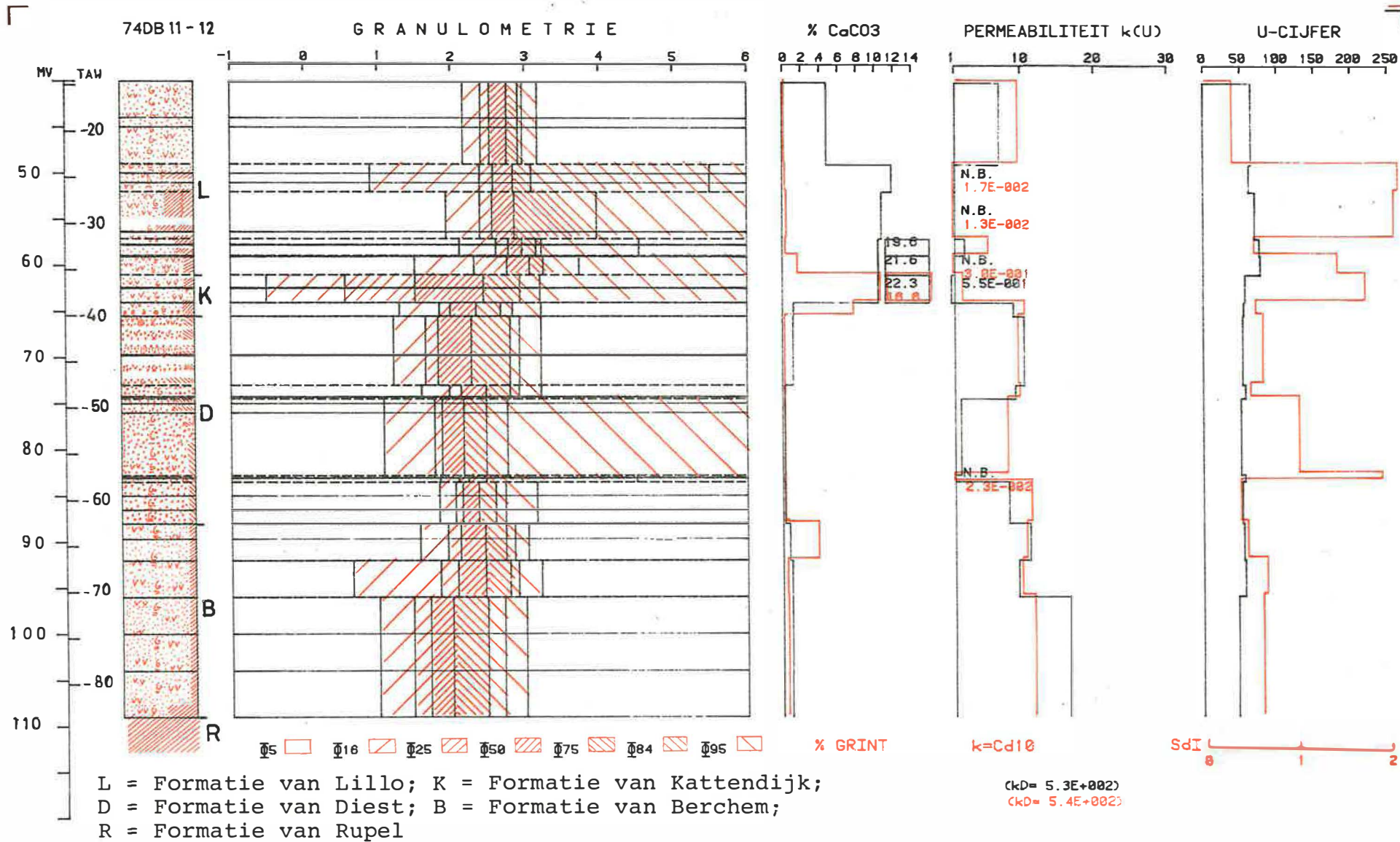


Fig. 6.12 - Hydrolitologisch profiel van de boring 74DB11-12 (2e deel)

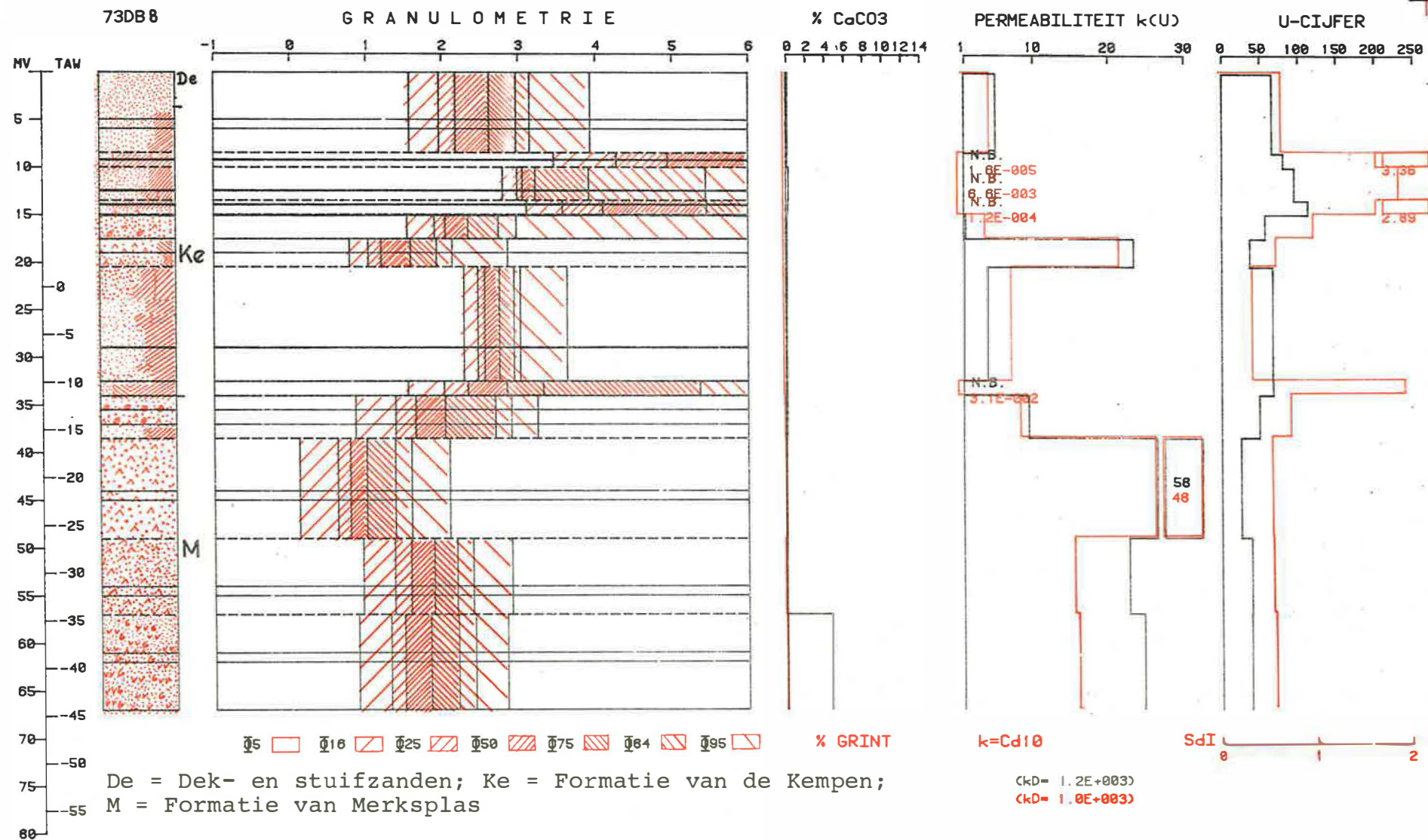


Fig. 6.13 - Hydrolitologisch profiel van de boring 73DB8 (1e deel)

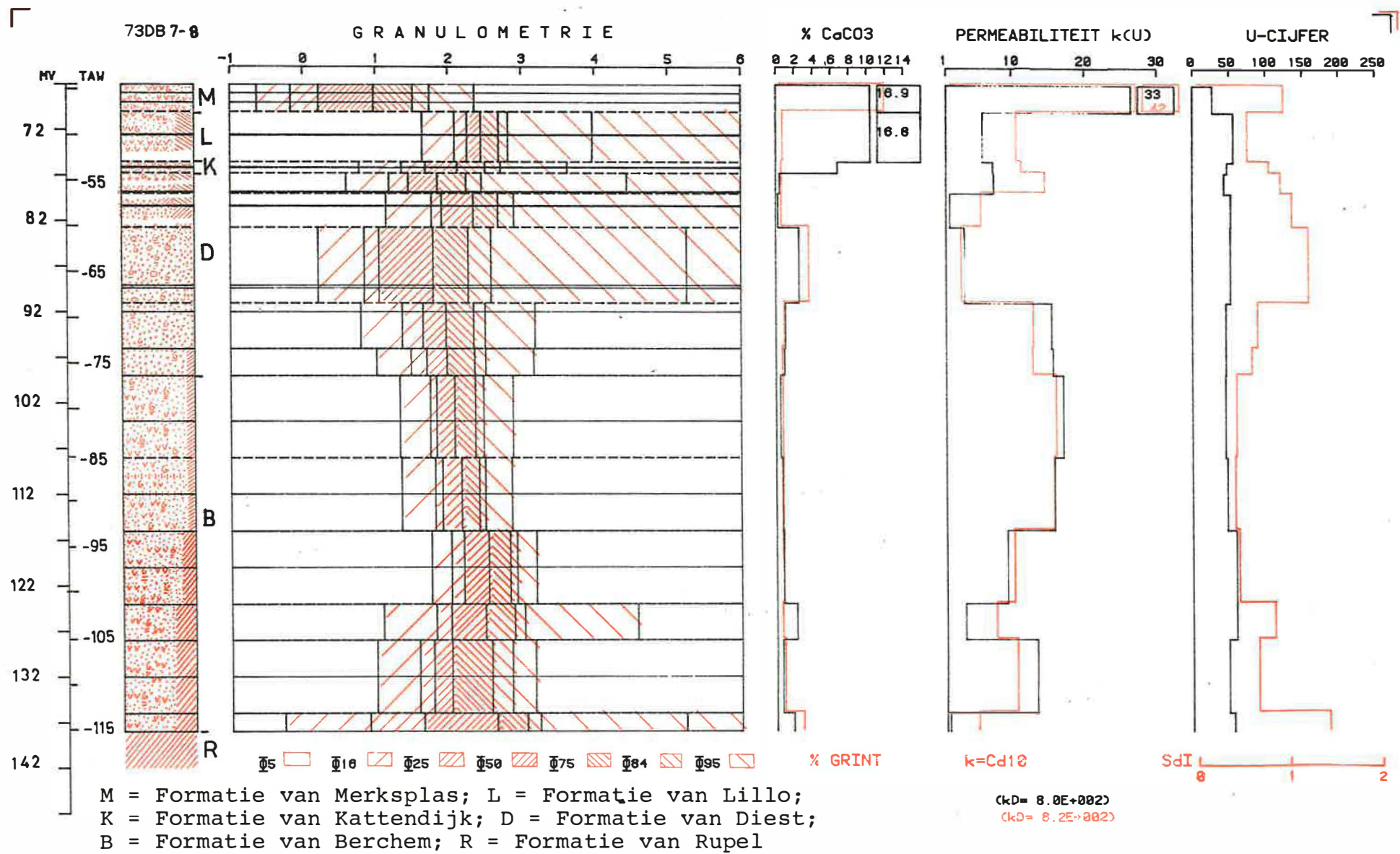


Fig. 6.14 - Hydrolitologisch profiel vande boring 73DB7-8 (2e deel)

7. HYDROGEOLOGISCHE BOUW VAN HET GRONDWATERRESERVOIR

7.1. Boringen + sedimentologisch onderzoek

Uit de boorbeschrijvingen en de resultaten van het sedimentologisch onderzoek verkrijgt men een beeld van de hydrogeologische bouw van het grondwaterreservoir, dit is de opeenvolging van doorlatende, half-doorlatende en ondoorlatende lagen.

In fig. 7.1. is schematisch de hydrogeologische bouw in boring 74DB11-12 en de lithostratigrafische opeenvolging voorgesteld. In fig. 7.2 is dit gebeurd voor de boring 73DB7-8.

De Klei van Boom onder het peil -84 in het zuiden en -115 in het noorden wordt als ondoorlatend substraat van het grondwaterreservoir beschouwd.

De fijnkorrelige afzettingen van de Formatie van Berchem vormen samen met de hoofdzakelijk middelmatige zanden van de Formatie van Diest en de fijne tot middelmatige zanden van de Formatie van Kattendijk een doorlatende laag die als half-artesische watervoerende laag C werd aangeduid. In boring 74DB11-12 behoren de laatste 2 meters van de Formatie van Lillo ook tot deze watervoerende laag. De dikte ervan bedraagt 50 m in het zuiden en 62,5 m in het noorden.

Daarboven komt de half-doorlatende laag C' voor, met een dikte van 10 m in het zuiden en 5,5 m in het noorden. Ze bestaat uit de fijne klei- en leemhoudende zanden van het onderste deel van de Formatie van Lillo.

De fijne zanden van het bovenste deel van de Formatie van Lillo, de middelmatige en grove zeer doorlatende zanden van de Formatie van Merksplas en de zanden van de Formatie van de Kempen vormen de tweede watervoerende laag, namelijk de half-artesische watervoerende laag B. De dikte bedraagt circa 39 m in de zuidelijke boring en circa 55 m in de noordelijke boring.

De tweede half-doorlatende laag B' komt overeen met de kleiige afzettingen van de Formatie van de Kempen. Het blijkt dat de bovenste afzettingen van de Formatie van de Kempen meer leem en klei bevatten. Bijgevolg is dit gedeelte als half-doorlatend te beschouwen. De hydraulische weerstand varieert echter sterk van plaats tot plaats wegens de snelle faciëswisseling zowel in horizontale als in verticale zin. De dikte van deze half-doorlatende laag

Fig. 7.1 - Hydrogeologische bouw van het grondwaterreservoir in boring 74DB11-12

Diepte (in m)

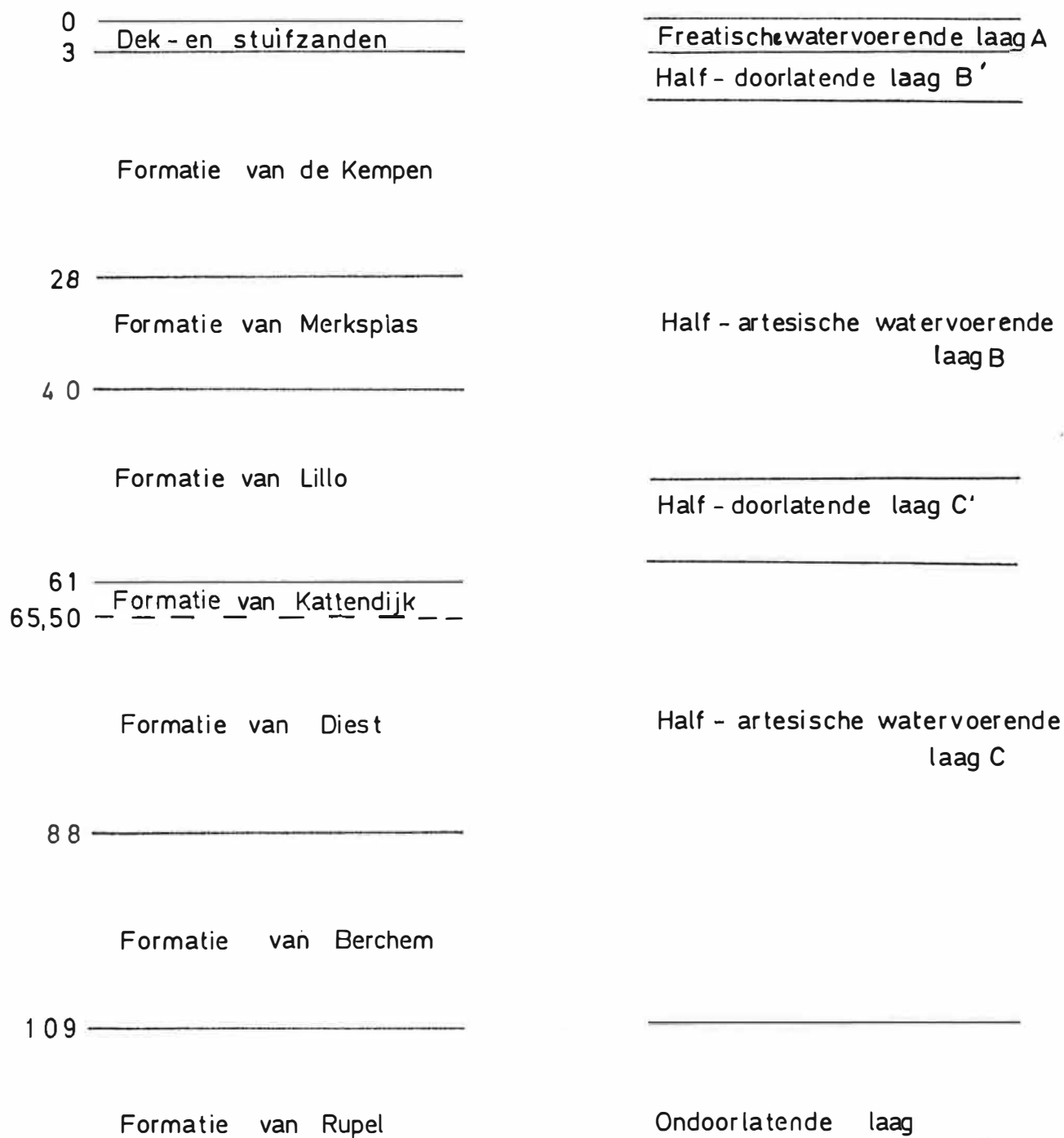
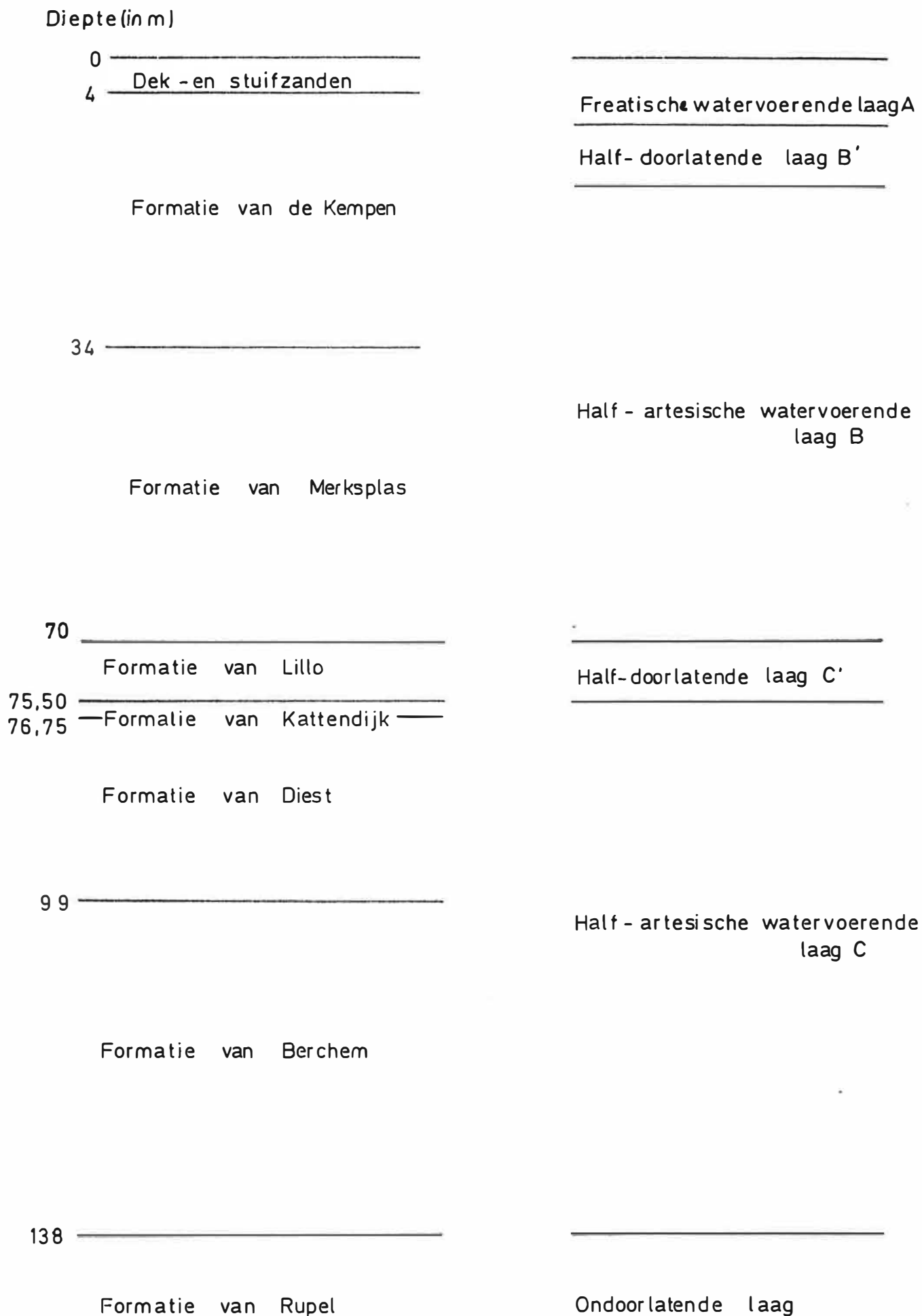


Fig. 7.2 - Hydrogeologische bouw van het grondwaterreservoir in boring 73DB7-8



kan men vastleggen op circa 7 m in boring 74DB11-12 en circa 6 m in boring 73DB7-8.

De dek- en stuifzanden vormen samen met eventueel voorkomend fijn zand van de Formatie van de Kempen boven de eerste kleilaag, een freatische watervoerende laag A. De dikte van deze laag schommelt sterk. Ze bedroeg 3 m in boring 74DB11-12 en 8,5 m in boring 73DB7-8.

7.2. Aanvulling : geofysische boorgatmetingen

Naar aanleiding van een geofysisch onderzoek in de Noorderkempen door de Belgische Geologisch Dienst werden geofysische boorgatmetingen verricht in de twee boringen tot grote diepte. Deze werden uitgevoerd door de Dienst Grondwaterverkenning van T.N.O. (Nederland).

De resultaten van deze metingen werden niet in deze studie verwerkt maar wel als aanvulling voor het veldwerk en het sedimentologisch onderzoek en als controle voor de hydrogeologische bouw opgenomen. De grafieken zijn weergegeven in de figuren 7.3 tot 7.8. Ze zijn 50 % verkleind.

De volgende geofysische metingen werden uitgevoerd :

De meting van de spontane potentiaal (uitgedrukt in mV) is vooral belangrijk voor het opsporen van kleilagen. De spontane potentiaal geeft konstante waarden aan voor klei wegens de konstante concentratie van het poriënwater in klei; die konstante waarden zijn evenwel willekeurig; ze verschillen van boring tot boring wegens de willekeurige potentiaal van het boorslib waar de referentie-elektrode inzit.

De kleilagen in de Formatie van de Kempen komen op de figuren tot uiting.

De meting van de resistiviteit (uitgedrukt in Ω m) verschaft informatie over de structuur en textuur van de lagen; het verschil in resistiviteit van de gesteenten laat een litologische interpretatie toe. Algemeen kan men zeggen dat hoe groter de resistiviteit is, hoe grofkorreliger het sediment. Klei vertoont een zeer kleine resistiviteit.

Op de figuren vallen de hoge resistiviteiten van de grofkorrelige Formatie van Merskplas op.

De meting van de diameter (uitgedrukt in cm) wordt gebruikt voor de aanpassing van de resistiviteitsmetingen maar geeft bovendien informatie over kompakte kleilagen of steenbanken : bij een spoelboring blijft de boorkop hierop even staan, waardoor juist boven deze lagen een bredere diameter van het boorgat wordt uitgespoeld. De steenbanken in de Formatie van Diest komen duidelijk tot uiting op de figuren.

De meting van de natuurlijke gammastraling (uitgedrukt in cps) verschaft o.a. informatie over kleilagen en glaukonietgehalte; beide geven een hogere gammastraling; schelpenlagen daarentegen geven een lagere gammastraling af.

Op de figuren komen de kleilagen in de Formatie van de Kempen en het toenemend glaukonietgehalte in de onderste lagen duidelijk tot uiting; ook de schelpenlagen in de Formatie van Lillo kunnen opgespoord worden.

De meting van de verticale stroming in de pompput of flow-meting (uitgedrukt in %) is zowel kumulatief als per meter filter gegeven; deze meting wordt uitgevoerd in een piëzometer, terwijl er op de put gepompt wordt; hierdoor bekomt men informatie over de doorlatende eigenschappen van de lagen waarin het filterelement steekt. In piëzometer 74DB11/F1 verloopt de kumulatieve curve tamelijk gelijkmatig over de ganse filterlengte, terwijl piëzometer 73DB7 aangeeft dat het onderste gedeelte van de Formatie van Berchem, vanaf 112 m diepte, bijna niets opbrengt.

$\rho_{20} \text{ spoeling} = \underline{48} \text{ } \Omega\text{m}$



Fig. 7.3 - Meting spontane potentiaal en elektrische weerstand in boring 74DB11

lokatie : Kalmthout kaartblad : 7 E nr:
 coördinaten : DGV nr : 80-3-62
 diepte : 110 m voorlopig nr: 74 DB 11
 mv t.o.v. NAP : m opdrachtgever: Belg Geol. Dienst
 diameter : 0,34 m
 verbuizing tot: m-mv
 type boring: spoel
 datum : 3-6-1980
 legenda volgens normalisatie

natuurlijke gammastraling
 ophaalsnelheid: 4 m/min
 tijdconstante : 5 s
 gevoeligheid : 4,4

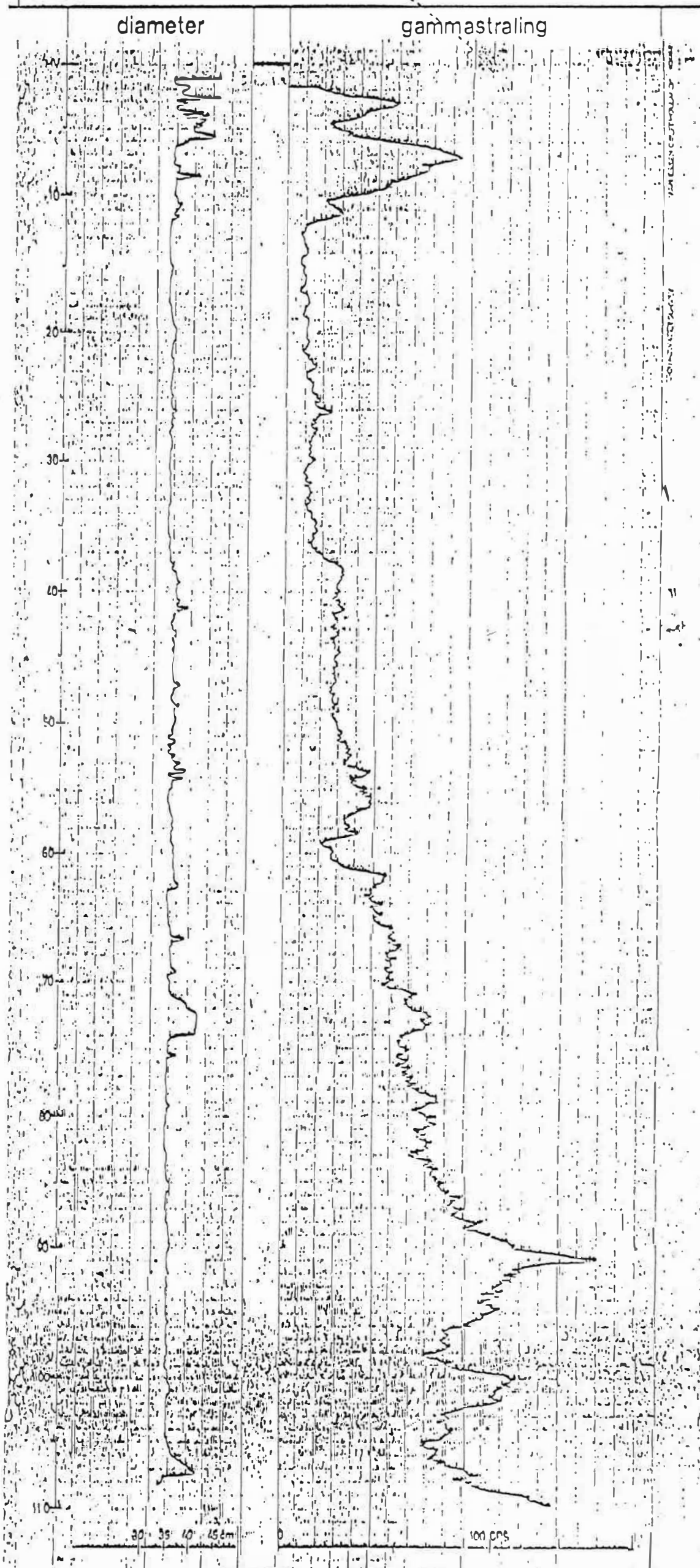


Fig. 7.5 - Meting diameter en gammastraling in boring 74DB11

datum : 7-10-1980

BGDnr: 7.4 DB 11

lokatie : Kalmthout

opdrachtgever: DGV

DGV nr : 80-4-07 (2)

boorfirma:

opnamesnelheid: 9 m/min

interpretatie: Otte

debiet : ~51,4 m³/h

operator : Reckman

pomp: onderwater

vertikale stroming

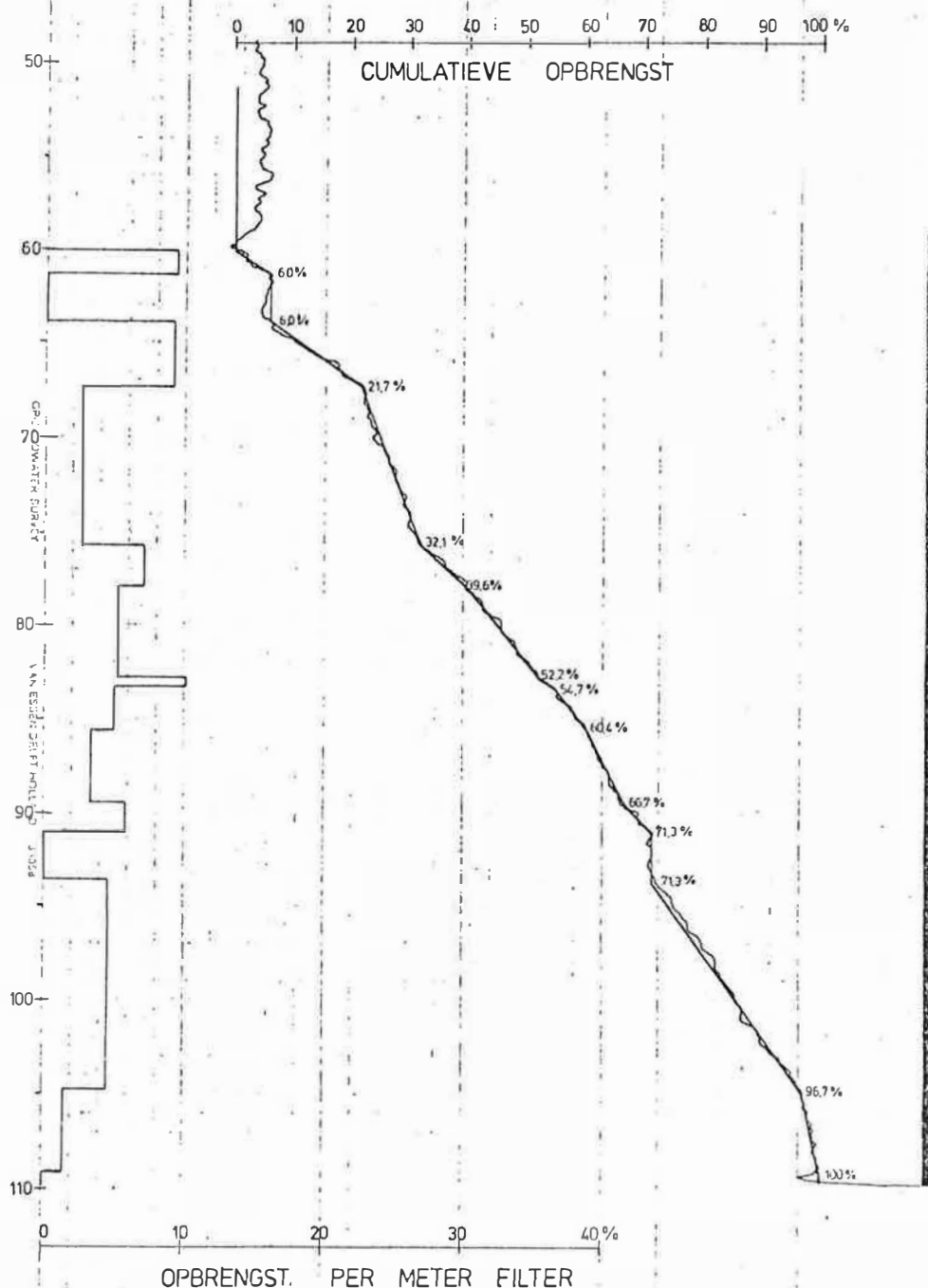


Fig. 7.7 - Meting verticale stroming in piëzometer 74DB11/F1

dienst grondwaterverkenning



datum : 7-10-1980	BGD nr: 7.3 DB 7
lokatie : Kalmthoutse Hoek	opdrachtgever: DGV
DGV nr : 80-4-07(1)	
boorfirma: _____	opnamesnelheid: 9 m/min
interpretatie: Otte	debiet : ~ 40 m ³ /h
operator : Reckman	pomp: onderwater

vertikale stroming

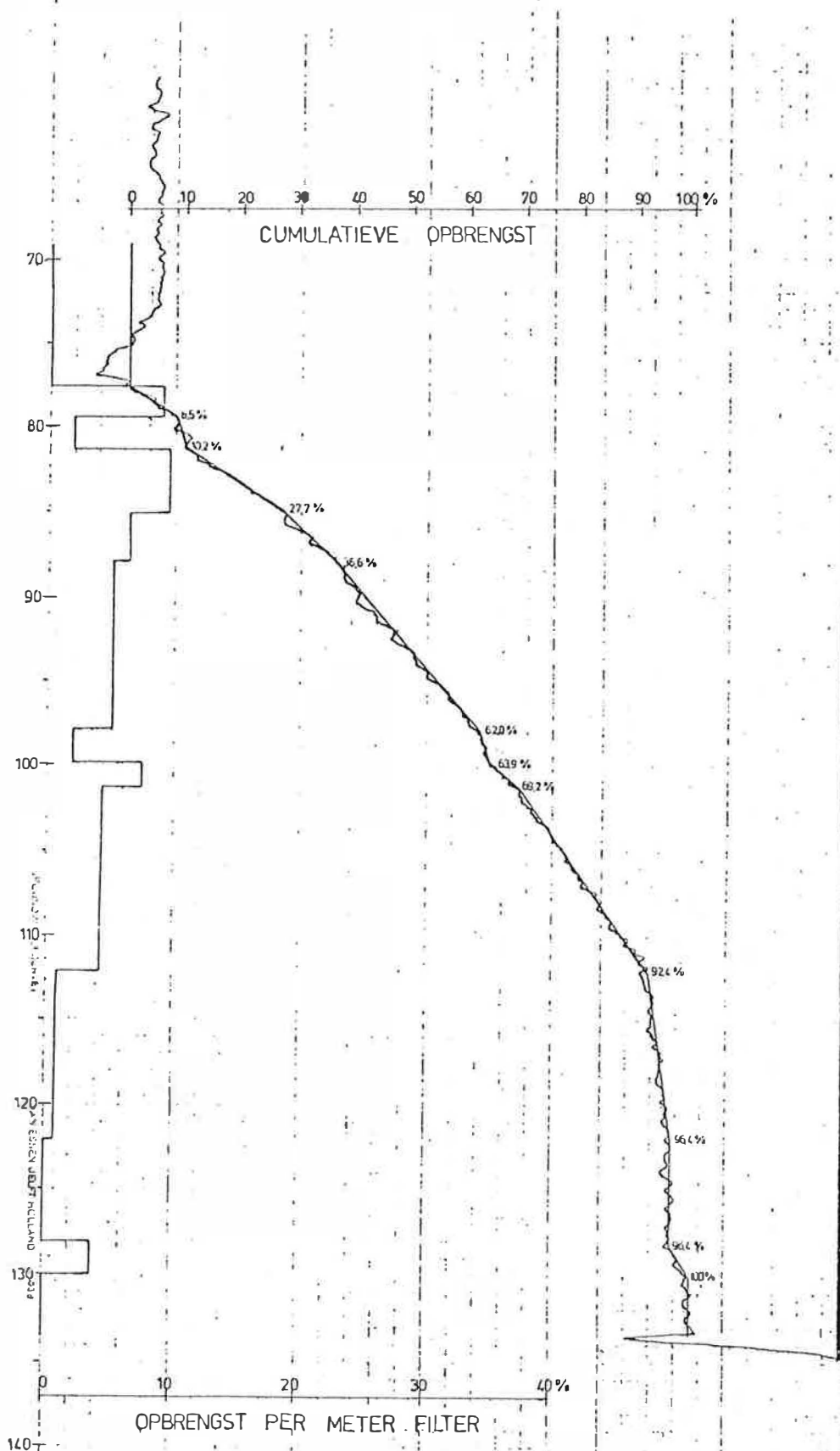


Fig. 7.8 - Meting verticale stroming in piëzometer 73DB7/F1

8. POMPPROEVEN

8.1. Inleiding

Oorspronkelijk waren vier pompproeven voorzien, waarvan drie op grote diepte, in de half-artesische laag C, boven de Klei van Boom. Een vierde zou geschieden juist onder de Formatie van de Kempen, in de half-artesische laag B.

Wegens de hoge kosten en wegens het feit dat er geen grote veranderingen op die diepte te verwachten waren, werden er na overleg met de stuurgroep, slechts twee uitgevoerd.

De eerste pompproef gebeurde in het zuiden van het studiegebied op de pompput 74DB11/F1, de tweede in het noorden op de pompput 73DB7/F1. Bij de aanleg van deze pompputten werd, rekening houdend met de hydrogeologische bouw van het grondwaterreservoir, de filter over de ganse dikte van de half-artesische laag C geplaatst (aanhangsel 1 : Boorbeschrijvingen).

Het boren van de pompputten en de pompproeven werden toevertrouwd aan de firma GEOLAB.

Gedurende deze pompproeven werden door de R.U.G., bijgestaan door IGEAN, metingen uitgevoerd op alle piëzometers in de verschillende watervoerende lagen in een straal van 1,5 km rond de pompput. Deze metingen werden volgens een logaritmisch tijdsverloop verricht, zowel overdag als 's nachts. De pomp, aangedreven door een generator, bevond zich op 17 m diepte.

8.2. Pompproef op de put 74DB11/F1

8.2.1. Verlaging

Deze pompproef ving aan op 13 juni 1980 te 12u00. Er werd gepompt met een gemiddeld debiet van $52,77 \text{ m}^3/\text{u}$ gedurende 14400 min. Het water werd via een leiding van circa 800 m naar grachten geleid die het in westelijke richting uit het gebied afvoerden.

Gedurende de pompproef werden de stijghoogten opgenomen in een 60-tal piëzometers. De gemeten verlaging op een bepaald tijdstip is het verschil tussen de gemeten stijghoogte op dat tijdstip en het rustpeil, dit is de stijghoogte opgemeten juist voor de aanvang van de pompproef. De verlaging werd voor alle piëzometers berekend en voor degene die een merkbare verlaging aantonen op bilogaritmisch

bilogarithmisch papier uitgezet, en degene die rechtstreeks bij de interpretatie betrokken werden bovendien op semi-logarithmisch papier (aanhangsel 5). De stijghoogte is echter niet alleen afhankelijk van de grondwaterstroming veroorzaakt door de pompproef. Ze wordt tijdens de pompproef ook beïnvloed door de natuurlijke grondwaterstroming in de verschillende watervoerende en half-doorlatende lagen, die ook van de neerslag afhankelijk is. De pompproef gebeurde tijdens een afvloeiperiode zodat de stijghoogte een dalende tendens vertoont. Bovendien spelen ook luchtdrukveranderingen een rol.

Deze invloeden werden gemeten in getuigeputten; dit zijn piëzometers in het studiegebied, geplaatst in dezelfde watervoerende lagen maar op voldoende grote afstand van de pompput, opdat de stijghoogten niet door de pumping beïnvloed zouden zijn. Voor de eerste pompproef werden de piëzometers 74DB5/F1 (op 2000 m afstand) en 74DB9/F1, F2, F3 en F4 (op 4750 m afstand) als getuigeputten uitgekozen. Tijdens de interpretatie bleek de 74DB5/F1, die van een hydrograaf voorzien was, de beste resultaten op te leveren (fig. 8.1). Enkel van de piëzometers, die rechtstreeks bij de interpretatie betrokken werden, werd dan een verbeterde verlagingskurve opgesteld (aanhangsel 5).

Er bevinden zich slechts drie piëzometers in de aangepompte laag C, nl. 74DB11/F2, 74DB12/F1, 74DB13/F1. De piëzometer 74DB11/F2 geeft weinig betrouwbare resultaten daar hij beïnvloed was door turbulente stromingen in de omgeving van de pompput. De interpretatie van de verlaging gebeurde met de 1e methode van HANTUSH op semi-logarithmisch papier (tabel 8.1, fig. 8.2), en met de methode van WALTON op bilogarithmisch papier (tabel 8.2, fig. 8.3) (G.P. KRUSEMAN en N.A. DE RIDDER, 1970).

r = afstand tot de pompput (m)

L = lekfactor (m)

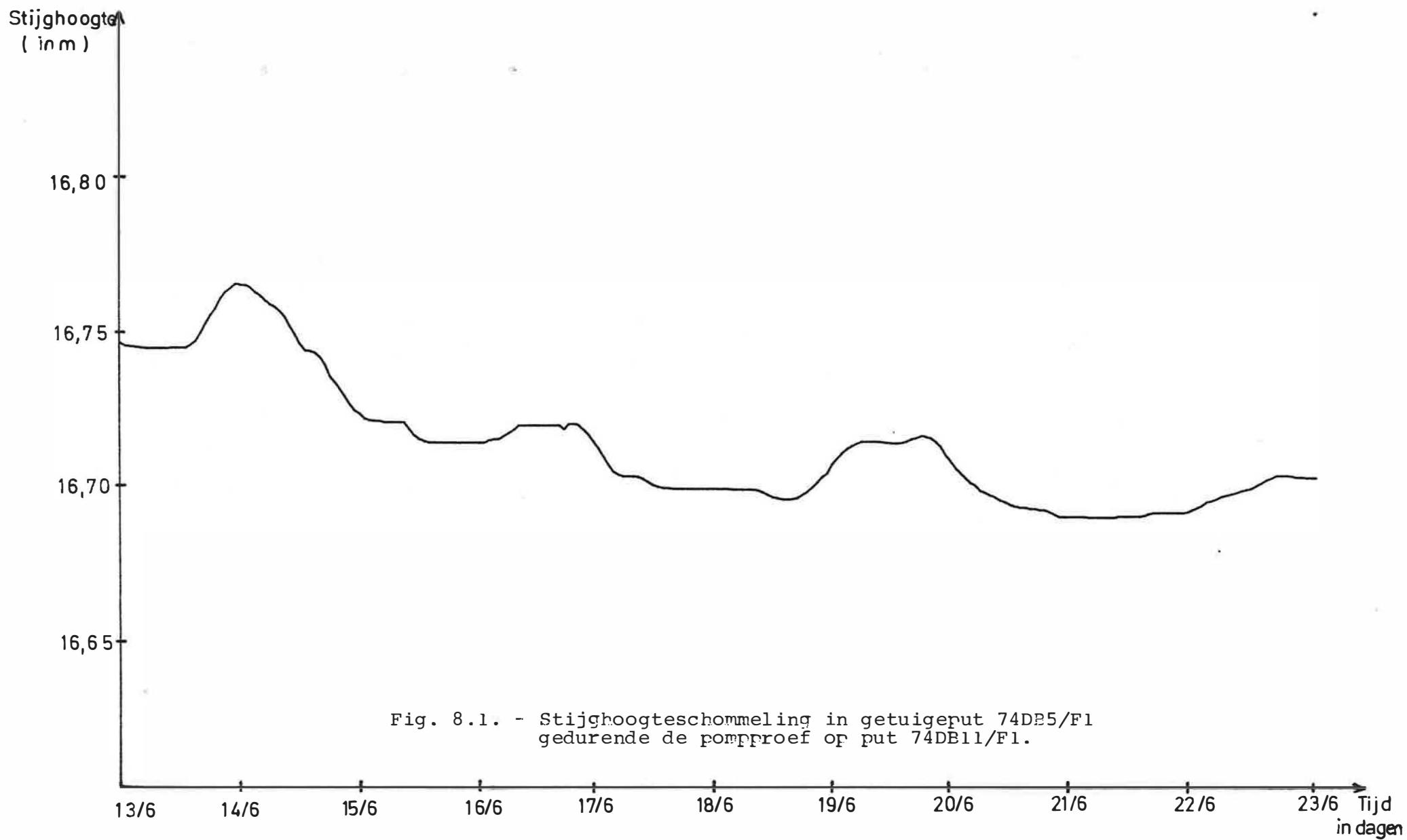
kD = transmissiviteit (m^2/dag)

S = elastische bergingscoëfficiënt

c = hydraulische weerstand (dagen)

D = dikte van de laag (m)

k = hydraulische doorlatendheidscoëfficiënt (m/dag)



Tabel 8.1 - Interpretatie van de pompproef op 74DB11/F1 in de half-artesische laag C, volgens HANTUSH 1, voor de piëzometers in de aangepompte laag

Piëzometer	r	L	kD	S	c	D	k
74DB12/F1	50 m	1790 m	830 m ² /d	$1,82 \times 10^{-4}$	3820 d	50 m	16,7 m/d
74DB13/F1	100 m	1610 m	1060 m ² /d	$3,16 \times 10^{-4}$	2450 d	50 m	21,3 m/d

Tabel 8.2 - Interpretatie van de pompproef op 74DB11/F1 in de half-artesische laag C, volgens WALTON, voor de piëzometers in de aangepompte laag

Piëzometer	r	L	kD	S	c	D	k
74DB12/F1	50 m	2000 m	840 m ² /d	$2,24 \times 10^{-4}$	4760 d	50 m	16,8 m/d
74DB13/F1	100 m	1000 m	920 m ² /d	$5,09 \times 10^{-4}$	1090 d	50 m	18,3 m/d

Voor nauwkeurige interpretatie van tijd-verlagingskurven in de niet-aangepompte half-artesische laag B is echter geen eenvoudige berekeningsmethode voorhanden. De resultaten bekomen met de interpretatie volgens HANTUSH 1 en volgens WALTON geven een transmissiviteit en een elastische bergingskoëfficiënt, die ongeveer overeenkomt met de som van de transmissiviteiten en de elastische bergingskoëfficiënten van de beide half-artesische lagen B en C samen. In de omgeving van de pompput komen zes piëzometers in deze laag voor, nl. 74DB12/F2, 74DB13/F2, 74DB1/F1, 74DB2/F1, 74DB4/F1, 74DB3/F1. De stijghoogteveranderingen in piëzometer 74DB1/F1 werden met een hydrograaf geregistreerd. De piëzometer 74DB13/F2 levert zeer onbetrouwbare gegevens wegens de slechte konstruktie (kleiomstorting) terwijl de piëzometers 74DB4/F1 en 74DB3/F1 te ver afgelegen zijn om een betrouwbare interpretatie toe te laten (te kleine verlaging). Er blijven er dus drie over. Op fig. 8.2 en 8.3 zijn de verbeterde tijd-verlagingskurven voorgesteld.

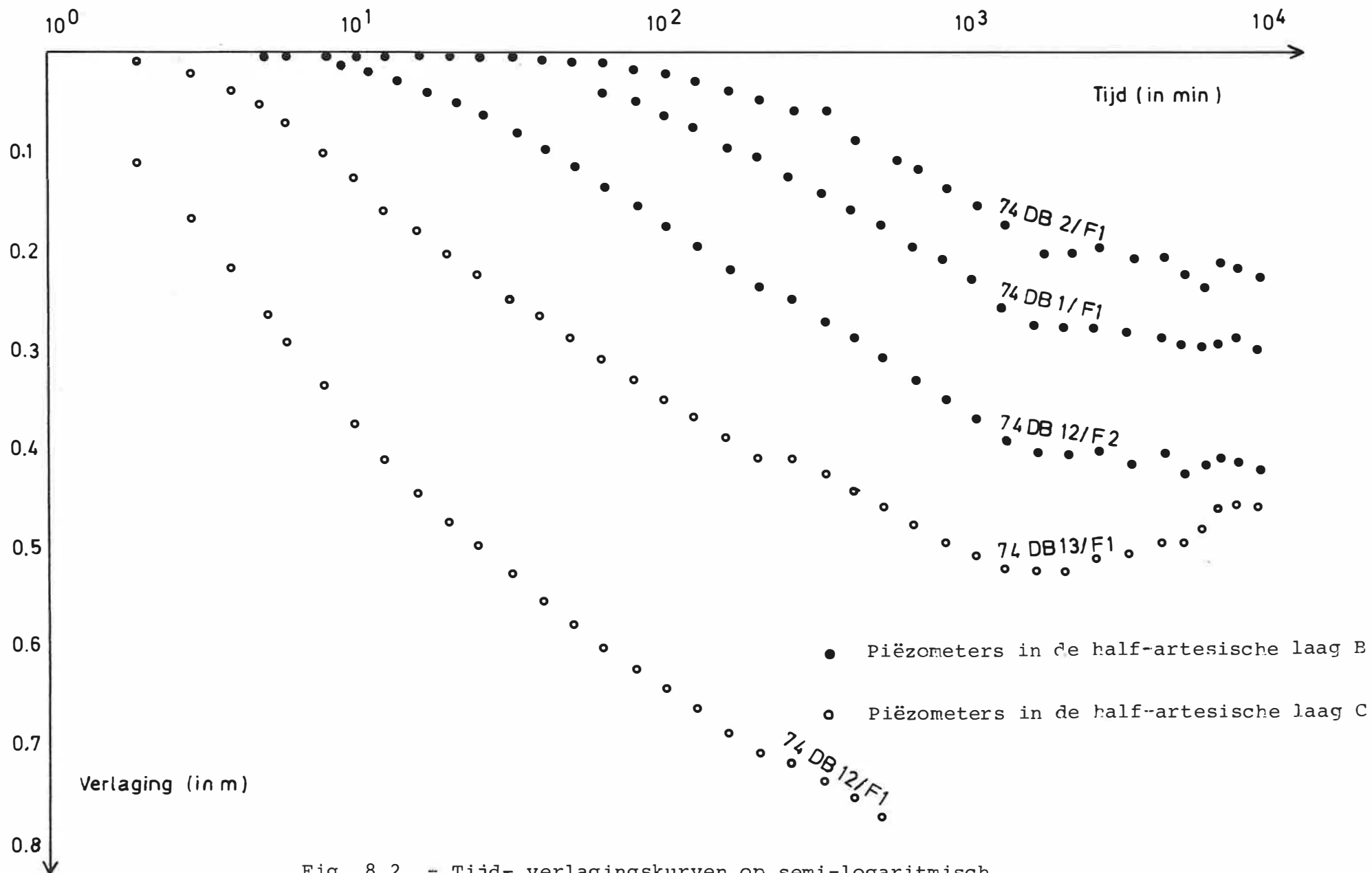


Fig. 8.2. - Tijd- verlagingenkurven op semi-logaritmisch papier van de pompproef op put 74DB11/F1.

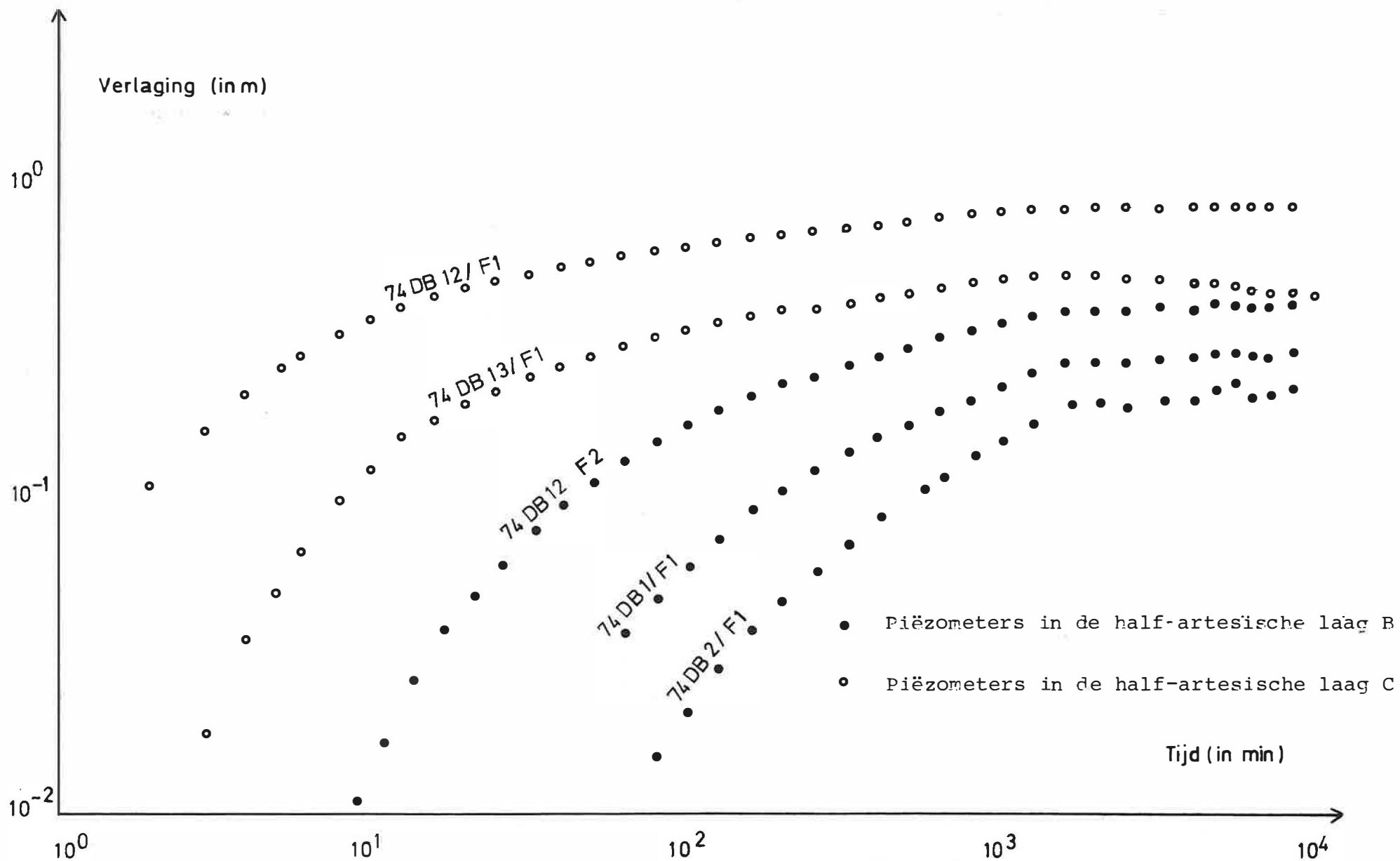


Fig. 8.3. - Tijd- verlagingenkurven op bi-logaritmisch papier van de pomproef op put 74DB11/F1.

Tabel 8.3 - Interpretatie van de pompproef 74DB11/F1 in de half-artesische laag C, volgens HANTUSH 1, voor de piëzometers in de half-artesische laag B

Piëzometer	r	L	kD	S	c	D	k
74DB12/F2	50 m	420 m	1030 m ² /d	$9,90 \times 10^{-3}$	170 d	81 m	12,7 m/d
74DB1/F1	250 m	1190 m	1140 m ² /d	$1,70 \times 10^{-3}$	1240 d	81 m	14,1 m/d
74DB2/F1	500 m	2000 m	1250 m ² /d	$1,12 \times 10^{-3}$	3210 d	81 m	15,4 m/d

Tabel 8.4 - Interpretatie van de pompproef 74DB11/F1 in de half-artesische laag C, volgens WALTON, voor de piëzometers in de half-artesische laag B

Piëzometer	r	L	kD	S	c	D	k
74DB12/F2	50 m	330 m	920 m ² /d	$1,32 \times 10^{-2}$	120 d	81 m	11,3 m/d
74DB1/F1	250 m	1250 m	1120 m ² /d	$1,99 \times 10^{-3}$	1400 d	81 m	13,8 m/d
74DB2/F1	500 m	2500 m	1340 m ² /d	$1,30 \times 10^{-3}$	4650 d	81 m	16,6 m/d

Voor het interpreteren van de stijghoogteverlaging in de freatische laag bestaan geen eenvoudige methoden.

De resultaten, die we bekomen hebben met de traditionele methoden, werden getoetst met een simulatiemodel (L. LEBBE, 1981) met behulp van een tafelrekenmachine TEKTRONIX 4051. Hierbij wordt verondersteld dat de lagen homogeen en anisotroop zijn, terwijl de stijghoogten konstant beschouwd worden op 1 km afstand van de pomput. De berekende kurven worden met de gemeten verlagingskurven vergeleken. Uit het verschil tussen de berekende en de gemeten kurven leidt men verbeterde waarden voor de hydraulische parameters van het grondwaterreservoir af. Met deze nieuwe parameters worden opnieuw berekeningen uitgevoerd en dit wordt herhaald tot de berekende en de gemeten kurven met elkaar overeenstemmen.

Aldus werden de volgende hydraulische parameters voor de verschillende lagen afgeleid :

- de transmissiviteit van laag C bedraagt $430 \text{ m}^2/\text{d}$, de elastische bergingskoëfficiënt $5,4 \times 10^{-4}$
- de hydraulische weerstand van laag C' (Formatie van Lillo) bedraagt 50 dagen
- de transmissiviteit van laag B bedraagt $690 \text{ m}^2/\text{d}$, de elastische bergingskoëfficiënt $6,7 \times 10^{-4}$
- de hydraulische weerstand van laag B' (Formatie van de Kempen) bedraagt 3.300 dagen
- voor de transmissiviteit van de freatische laag A werd $120 \text{ m}^2/\text{d}$ genomen, voor de elastische bergingskoëfficiënt $3,1 \times 10^{-4}$ en voor de bergingskoëfficiënt nabij de watertafel 0,2.

Op fig. 8.4 zijn de tijd-verlagings- en de tijd-afstandskurven voorgesteld voor de drie lagen, berekend volgens het simulatiemodel, terwijl de tabellen 8.5, 8.6 en 8.7 de grondwaterbalansen van de drie lagen weergeven. Hierin is : Q = opgepompt debiet

St = bergingsveranderingsdebiet

N_u = vertikaal doorsijpelingsdebiet uit bovenliggende laag

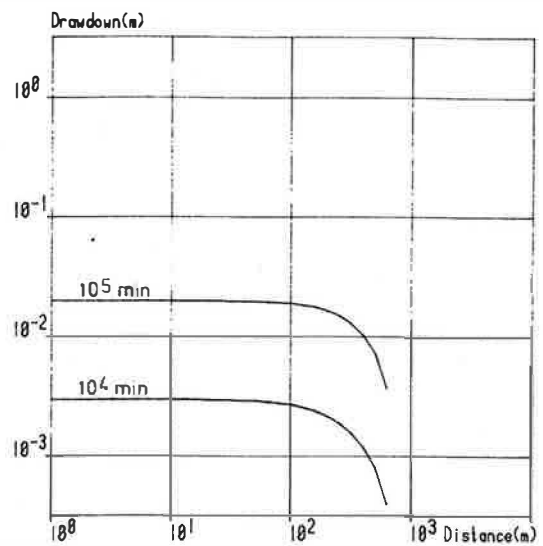
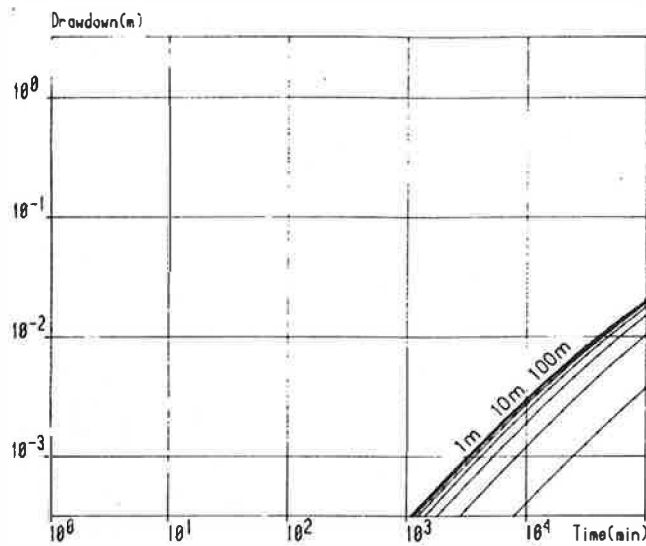
N_l = vertikaal doorsijpelingsdebiet uit onderliggende laag

H_s = horizontale doorsijpeling aan de konstante stijghoogtegrens op 1 km afstand

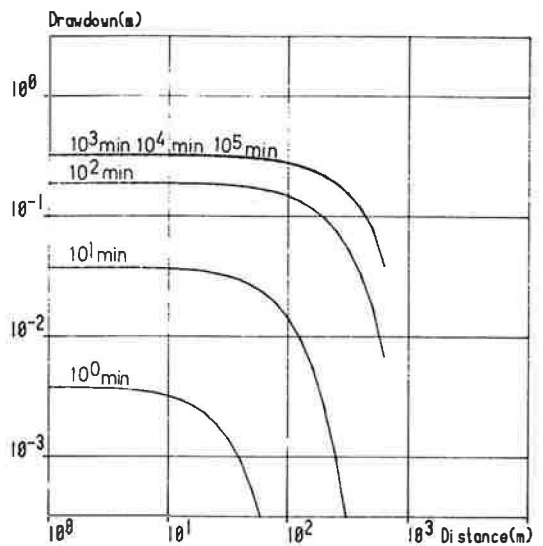
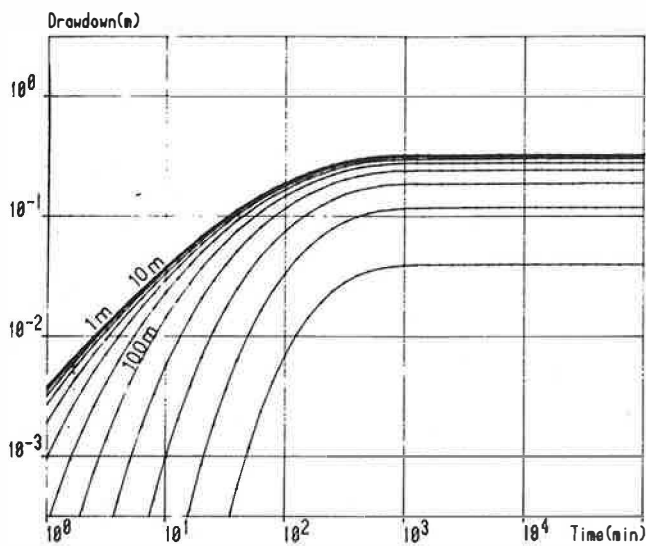
8.2.2. Stijging

Na 14.400 min. of 10 dagen werd de dompelpomp stilgelegd. Dit gebeurde op 23 juni 1980 te 12u00. Vanaf dat ogenblik werden de stijghoogten opnieuw opgenomen volgens een logaritmisch tijdverloop gedurende tien dagen.

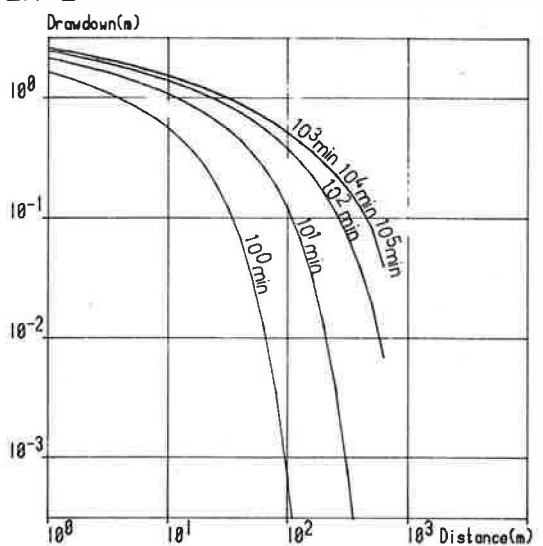
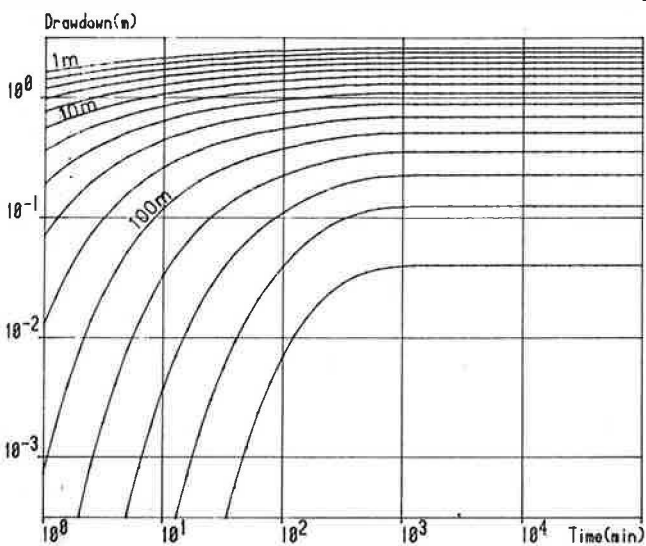
De metingen zijn opgenomen in aanhangsel 5. Voor degene die rechtstreeks bij de interpretatie werden betrokken, is de restverlaging ten opzichte van de verhouding t/t' op semi-logaritmisch papier uitgezet : t is de tijd sinds het aanslagen van de pomp en t' de tijd sinds het stilleggen van de pomp. Er werd ook een verbeterde restverlagingskurve uitgezet volgens de stijghoogteveranderingen in piëzometer 74DB5/F1 (fig. 8.5).



LAYER 3



LAYER 2



LAYER 1

Fig. 8.4. - Tijd- verlagings- en tijd- afstandskurven in de drie lagen van de pompproef op put 74DB11/F1, berekend met het simulatiemodel (L. LEBBE, 1981)

Tabel 8.5. - Grondwaterbalans van de half-artesische laag C tijdens de pompproef op put 74DB11/F1

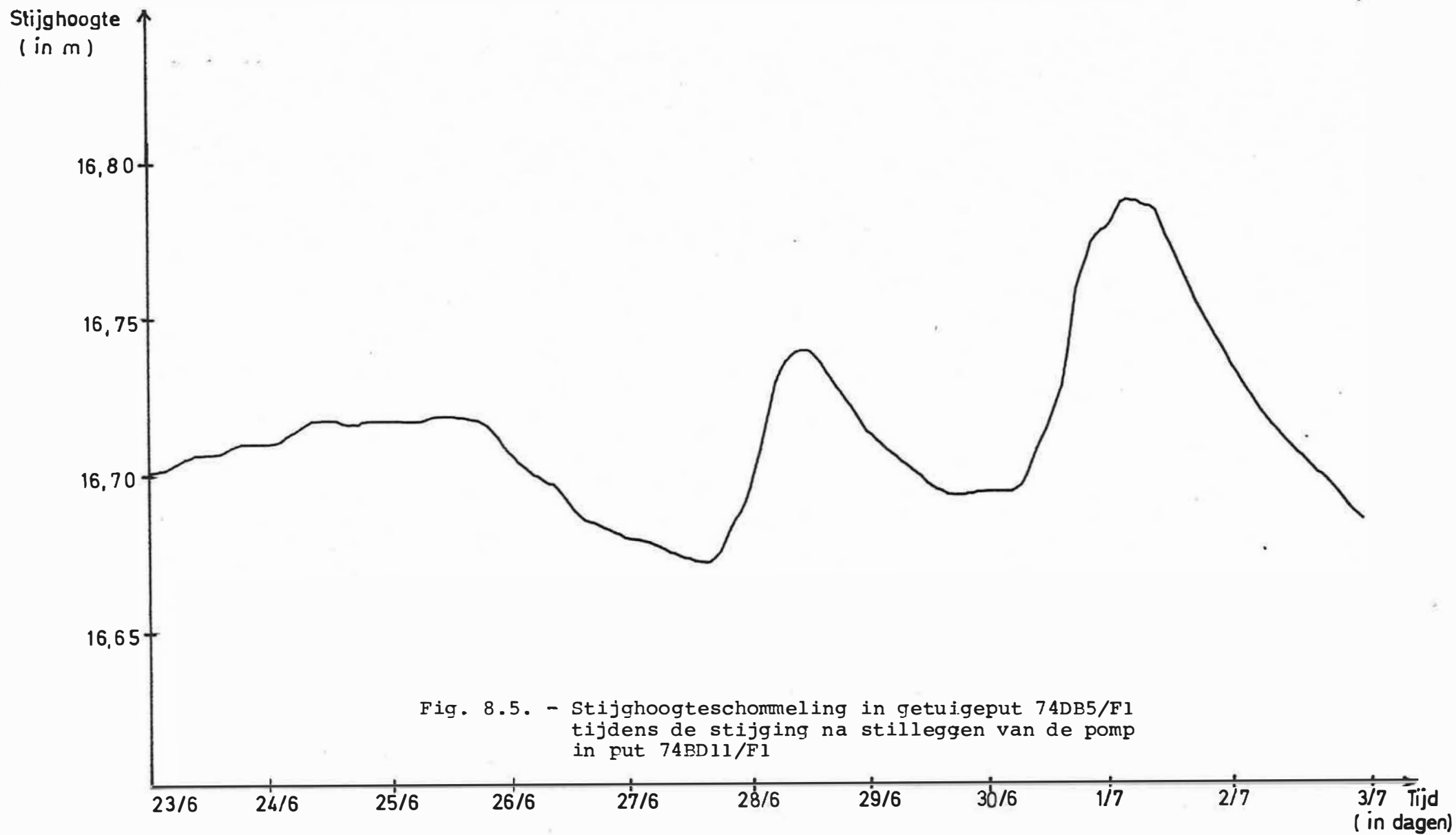
TIME (MIN)	Q (M ³ /DAY)	St (M ³ /DAY)	Nd (M ³ /DAY)	NL (M ³ /DAY)	Hs (M ³ /DAY)
1.00	-1266.00	1237.38	33.62	0.00	0.00
1.26	-1266.00	1229.39	36.61	0.00	0.00
1.53	-1266.00	1219.48	46.52	0.00	0.00
2.00	-1266.00	1207.23	58.77	0.00	0.00
2.51	-1266.00	1192.18	73.82	0.00	0.00
3.16	-1266.00	1173.79	92.21	0.00	0.00
3.93	-1266.00	1151.47	114.53	0.00	0.00
5.01	-1266.00	1124.67	141.33	0.00	0.00
6.31	-1266.00	1092.83	173.17	0.00	0.00
7.94	-1266.00	1055.58	210.42	0.00	0.00
10.00	-1266.00	1012.75	253.24	0.00	0.01
12.59	-1266.00	964.59	301.38	0.00	0.03
15.85	-1266.00	911.86	354.04	0.00	0.10
19.95	-1266.00	855.83	409.77	0.00	0.35
25.12	-1266.00	798.52	466.44	0.00	1.04
31.62	-1266.00	741.83	524.17	0.00	2.76
39.31	-1266.00	687.52	578.88	0.00	6.60
50.12	-1266.00	636.26	629.52	0.00	14.22
63.10	-1266.00	587.16	678.83	0.00	27.81
79.43	-1266.00	537.85	728.56	0.00	49.59
100.00	-1266.00	485.34	779.53	0.00	81.13
125.89	-1266.00	427.33	838.66	0.00	122.64
158.49	-1266.00	363.47	899.02	0.00	172.51
199.53	-1266.00	295.82	960.70	0.00	227.48
251.19	-1266.00	228.28	1027.46	0.00	283.25
316.23	-1266.00	165.54	1099.07	0.00	335.39
398.11	-1266.00	111.70	1174.07	0.00	380.23
501.19	-1266.00	69.39	1251.13	0.00	415.48
630.96	-1266.00	39.22	1336.15	0.00	440.63
794.33	-1266.00	19.91	1429.37	0.00	456.72
1000.00	-1266.00	8.97	1531.19	0.00	465.84
1258.93	-1266.00	3.54	1642.09	0.00	470.37
1584.89	-1266.00	1.20	1762.49	0.00	472.31
1995.26	-1266.00	0.35	1892.63	0.00	473.02
2511.89	-1266.00	0.09	1992.68	0.00	473.23
3162.28	-1266.00	0.02	2092.70	0.00	473.28
3981.07	-1266.00	0.00	2192.71	0.00	473.28
5011.87	-1266.00	0.00	2292.73	0.00	473.27
6309.57	-1266.00	0.00	2392.74	0.00	473.26
7943.28	-1266.00	0.00	2492.76	0.00	473.24
10000.00	-1266.00	0.00	2592.78	0.00	473.22
12589.25	-1266.00	0.00	2692.81	0.00	473.19
15848.93	-1266.00	0.00	2792.84	0.00	473.16
19952.62	-1266.00	0.00	2892.87	0.00	473.13
25118.86	-1266.00	0.00	2992.91	0.00	473.09
31622.78	-1266.00	0.00	3092.94	0.00	473.06
39810.72	-1266.00	0.00	3192.98	0.00	473.02
50118.72	-1266.00	0.00	3293.00	0.00	473.00
63095.73	-1266.00	0.00	3393.02	0.00	472.98
79432.02	-1266.00	0.00	3493.03	0.00	472.97
100000.00	-1266.00	0.00	3593.01	0.00	472.99

Tabel 8.6. - Grondwaterbalans van de half-artesische laag B tijdens de pompproef op put 74DB11/F1

TIME (MIN)	Q (M3/DAY)	St (M3/DAY)	Nu (M3/DAY)	NL (M3/DAY)	Hs (M3/DAY)
1.00	0.00	28.62	0.00	-28.62	0.00
1.26	0.00	36.60	0.01	-36.61	0.00
1.58	0.00	46.51	0.01	-46.52	0.00
2.00	0.00	58.75	0.02	-58.77	0.00
2.51	0.00	73.79	0.03	-73.82	0.00
3.16	0.00	92.16	0.05	-92.21	0.00
3.98	0.00	114.45	0.08	-114.53	0.00
5.01	0.00	141.21	0.13	-141.33	0.00
6.31	0.00	172.97	0.20	-173.17	0.00
7.94	0.00	210.11	0.30	-210.42	0.00
10.00	0.00	252.77	0.47	-253.24	0.01
12.59	0.00	300.63	0.71	-301.38	0.03
15.85	0.00	352.83	1.07	-354.04	0.14
19.95	0.00	407.70	1.60	-409.77	0.48
25.12	0.00	462.61	2.34	-466.44	1.49
31.62	0.00	513.90	3.39	-521.41	4.12
39.81	0.00	556.93	4.82	-571.88	10.13
50.12	0.00	596.53	6.72	-615.52	22.27
63.10	0.00	597.81	9.15	-651.03	44.07
79.43	0.00	587.35	12.15	-678.56	79.06
100.00	0.00	554.23	15.73	-699.53	129.58
125.89	0.00	500.58	19.79	-716.04	195.67
158.49	0.00	431.25	24.19	-730.02	274.57
199.53	0.00	352.91	28.73	-742.70	361.05
251.19	0.00	272.87	33.14	-754.46	448.43
316.23	0.00	197.96	37.18	-765.07	529.91
398.11	0.00	133.58	40.60	-774.07	599.85
501.19	0.00	82.98	43.28	-781.13	654.81
630.96	0.00	46.89	45.18	-786.15	694.00
794.33	0.00	23.81	46.39	-789.37	719.06
1000.00	0.00	10.73	47.07	-791.19	733.28
1258.93	0.00	4.23	47.40	-792.09	740.33
1584.89	0.00	1.44	47.53	-792.49	743.35
1995.26	0.00	0.42	47.56	-792.63	744.44
2511.89	0.00	0.10	47.56	-792.68	744.76
3162.28	0.00	0.02	47.53	-792.70	744.83
3981.07	0.00	0.00	47.49	-792.71	744.81
5011.87	0.00	0.00	47.44	-792.73	744.77
6309.57	0.00	0.00	47.37	-792.74	744.72
7943.28	0.00	0.00	47.29	-792.76	744.66
10000.00	0.00	0.00	47.19	-792.78	744.58
12589.25	0.00	0.00	47.07	-792.81	744.49
15848.93	0.00	0.00	46.91	-792.84	744.38
19952.62	0.00	0.00	46.72	-792.87	744.26
25118.86	0.00	0.00	46.49	-792.91	744.12
31622.78	0.00	0.00	46.20	-792.94	743.97
39810.72	0.00	0.00	45.86	-792.98	743.80
50118.72	0.00	0.00	45.44	-793.00	743.64
63095.73	0.00	0.00	44.94	-793.02	743.48
79432.82	0.00	0.00	44.36	-793.03	743.34
100000.00	0.00	0.00	43.69	-793.01	743.22

Tabel 8.7. - Grondwaterbalans van de freatische laag A tijdens de pompproef op put 74DB11/F1

TIME (MIN)	Q (m ³ /DAY)	ST (m ³ /DAY)	NU (m ³ /DAY)	NL (m ³ /DAY)	HS (m ³ /DAY)
1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1.26	0.00	0.01	0.00	-0.01	0.00
1.58	0.00	0.01	0.00	-0.01	0.00
2.00	0.00	0.02	0.00	-0.02	0.00
2.51	0.00	0.03	0.00	-0.03	0.00
3.16	0.00	0.05	0.00	-0.05	0.00
3.98	0.00	0.08	0.00	-0.08	0.00
5.01	0.00	0.13	0.00	-0.13	0.00
6.31	0.00	0.20	0.00	-0.20	0.00
7.94	0.00	0.30	0.00	-0.30	0.00
10.00	0.00	0.47	0.00	-0.47	0.00
12.59	0.00	0.71	0.00	-0.71	0.00
15.85	0.00	1.07	0.00	-1.07	0.00
19.95	0.00	1.60	0.00	-1.60	0.00
25.12	0.00	2.34	0.00	-2.34	0.00
31.62	0.00	3.39	0.00	-3.39	0.00
39.81	0.00	4.82	0.00	-4.82	0.00
50.12	0.00	6.71	0.00	-6.72	0.00
63.10	0.00	9.15	0.00	-9.15	0.00
79.43	0.00	12.15	0.00	-12.15	0.00
100.00	0.00	15.72	0.00	-15.73	0.00
125.89	0.00	19.78	0.00	-19.79	0.00
158.49	0.00	24.19	0.00	-24.19	0.00
199.53	0.00	28.72	0.00	-28.73	0.01
251.19	0.00	33.13	0.00	-33.14	0.01
316.23	0.00	37.16	0.00	-37.18	0.02
398.11	0.00	40.57	0.00	-40.60	0.03
501.19	0.00	43.24	0.00	-43.28	0.04
630.96	0.00	45.12	0.00	-45.18	0.05
794.33	0.00	46.31	0.00	-46.39	0.08
1000.00	0.00	46.96	0.00	-47.07	0.10
1258.93	0.00	47.25	0.00	-47.40	0.14
1584.89	0.00	47.34	0.00	-47.53	0.18
1995.26	0.00	47.31	0.00	-47.56	0.24
2511.89	0.00	47.23	0.00	-47.56	0.31
3162.28	0.00	47.11	0.00	-47.53	0.40
3981.07	0.00	46.96	0.00	-47.49	0.51
5011.37	0.00	46.76	0.00	-47.44	0.65
6309.57	0.00	46.52	0.00	-47.37	0.83
7943.28	0.00	46.21	0.00	-47.29	1.05
10000.00	0.00	45.82	0.00	-47.19	1.32
12589.25	0.00	45.34	0.00	-47.07	1.67
15848.93	0.00	44.73	0.00	-46.91	2.11
19952.62	0.00	43.98	0.00	-46.72	2.65
25118.06	0.00	43.05	0.00	-46.49	3.33
31622.78	0.00	41.89	0.00	-46.20	4.17
39810.72	0.00	40.47	0.00	-45.86	5.22
50118.72	0.00	38.73	0.00	-45.44	6.50
63095.73	0.00	36.62	0.00	-44.94	8.07
79432.82	0.00	34.11	0.00	-44.36	9.95
100000.00	0.00	31.16	0.00	-43.69	12.17



Voor de interpretatie werd de methode van JACOB aangewend, alhoewel hiervoor niet alle voorwaarden vervuld waren (W. DE BREUCK, 1972). Ook de metingen van de pompput werden bij de interpretatie betrokken.

Tabel 8.8 - Interpretatie van de restverlagingskurven na het stilleggen van de pomp in put 74DB11/F1 in de half-artesische laag C, volgens de methode van JACOB

		r	kD
Piëzometers in laag C	74DB11/F1	0,01 m	830 m ² /d
	74DB12/F1	50 m	890 m ² /d
	74DB13/F1	100 m	1010 m ² /d
<hr/>			
Piëzometers in laag B	74DB12/F2	50 m	1050 m ² /d
	74DB1/F1	250 m	1270 m ² /d
	74DB2/F1	500 m	1570 m ² /d

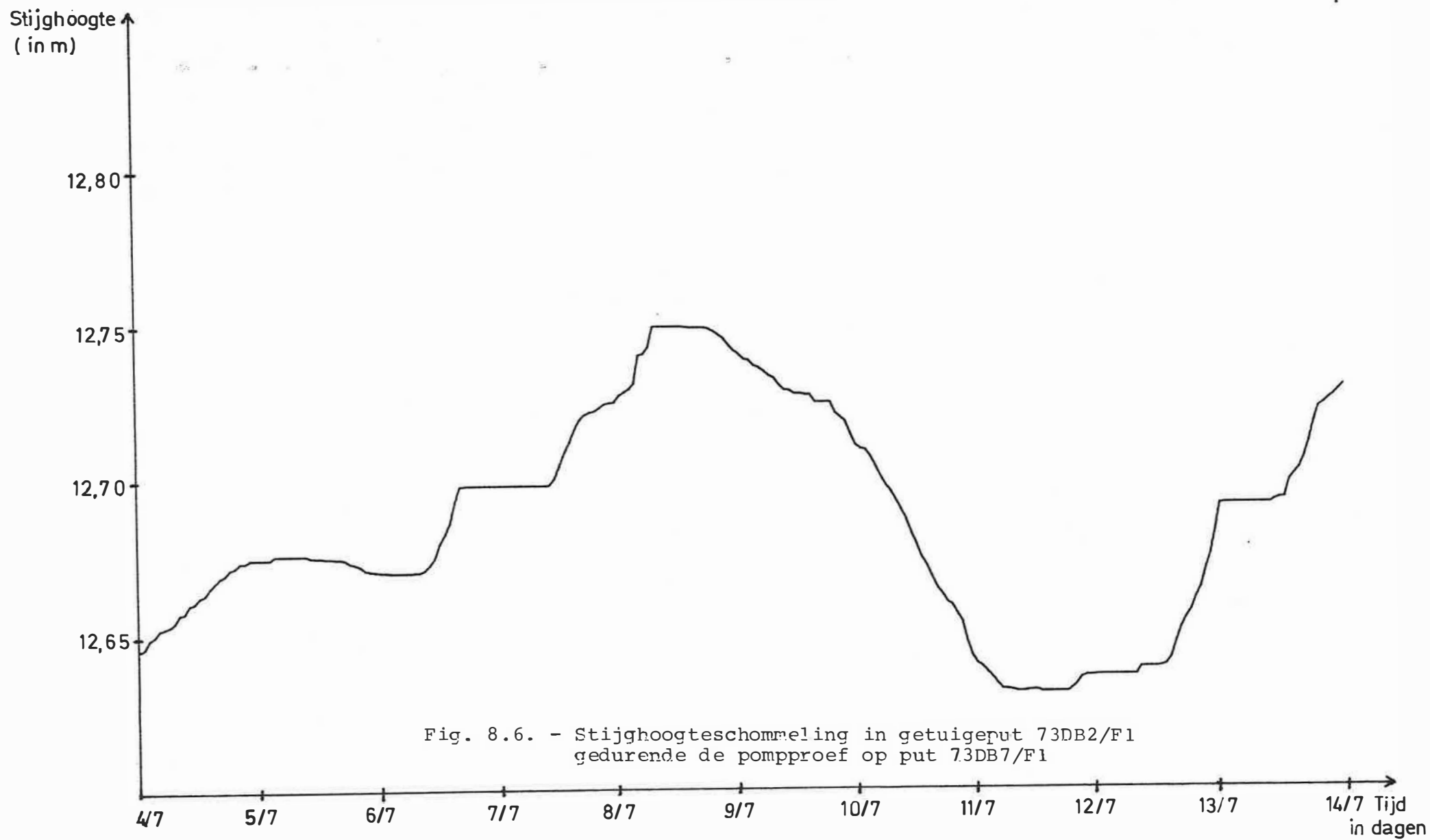
8.3. Pompproef op put 73DB7/F1

8.3.1. Verlaging

De pompproef in het noorden van het gebied ving aan op 4 juli 1980 te 11u00. Dit is elf dagen na het stilleggen van de pomp in de zuidelijke put. Wegens de grote afstand (ca. 5,5 km) was geen wederzijdse beïnvloeding te verwachten.

Er werd gepompt met een gemiddeld debiet van 51,82 m³/u gedurende 14.415 min. Het water werd via een leiding van circa 450 m naar grachten geleid die het in noordelijke richting naar de Huijbergse beek en zo uit het gebied voerden.

Gedurende de pompproef werden de stijghoogten opgenomen in een 40-tal piëzometers. De piëzometers die een merkbare verlaging vertonen werden op bilogarithmisch papier uitgezet (aanhangsel 5). De piëzometers die rechtstreeks werden betrokken bij de interpretatie, werden ook op semi-logarithmisch papier uitgezet en zijn verbeterd voor neerslag en luchtdrukveranderingen volgens het stijghoogteverloop in piëzometer 73DB2/F1. Deze piëzometer was van een hydrograaf voorzien (fig. 8.6).



Er zijn slechts drie piëzometers in de aangepompte laag C nl. 73DB7/F2, 73DB8/F1 en 73DB9/F1. De piëzometer 73DB7/F2 gaf bovendien weinig betrouwbare resultaten. De interpretatie van de verlaging gebeurde volgens HANTUSH 1 en volgens WALTON (tabel 8.9 en 8.10) (fig. 8.7 en 8.8).

Tabel 8.9 - Interpretatie van de pompproef op 73DB7/F1 in de half-artesische laag C, volgens HANTUSH 1, voor de piëzometers in de aangepompte laag

Piëzometer	r	L	kD	S	c	D	k
73DB8/F1	50 m	790 m	1560 m ² /d	$6,28 \times 10^{-4}$	400 d	55 m	28,4 m/d
73DB9/F1	100 m	910 m	1800 m ² /d	$1,16 \times 10^{-3}$	460 d	55 m	18,0 m/d

Tabel 8.10 - Interpretatie van de pompproef op 73DB7/F1 in de half-artesische laag C, volgens WALTON, voor de piëzometers in de aangepompte laag

Piëzometer	r	L	kD	S	c	D	k
73DB8/F1	50 m	1000 m	1980 m ² /d	$4,62 \times 10^{-4}$	510 d	55 m	19,4 m/d
73DB9/F1	100 m	670 m	1830 m ² /d	$1,17 \times 10^{-3}$	240 d	55 m	18,0 m/d

In de half-artesische laag B komen er slechts twee piëzometers voor die dicht genoeg bij de pompput gelegen zijn, om te kunnen geïnterpreteerd worden. De resultaten staan in tabel 8.11 en 8.12.

Tabel 8.11 - Interpretatie van de pompproef op 73DB7/F1 in de half-artesische laag C, volgens HANTUSH 1, voor de piëzometers in de half-artesische laag B

Piëzometer	r	L	kD	S	c	D	k
73DB8/F2	50 m	700 m	2000 m ² /d	$2,45 \times 10^{-3}$	250 d	102 m	19,6 m/d
73DB9/F2	100 m	830 m	1710 m ² /d	$1,85 \times 10^{-3}$	410 d	102 m	16,8 m/d

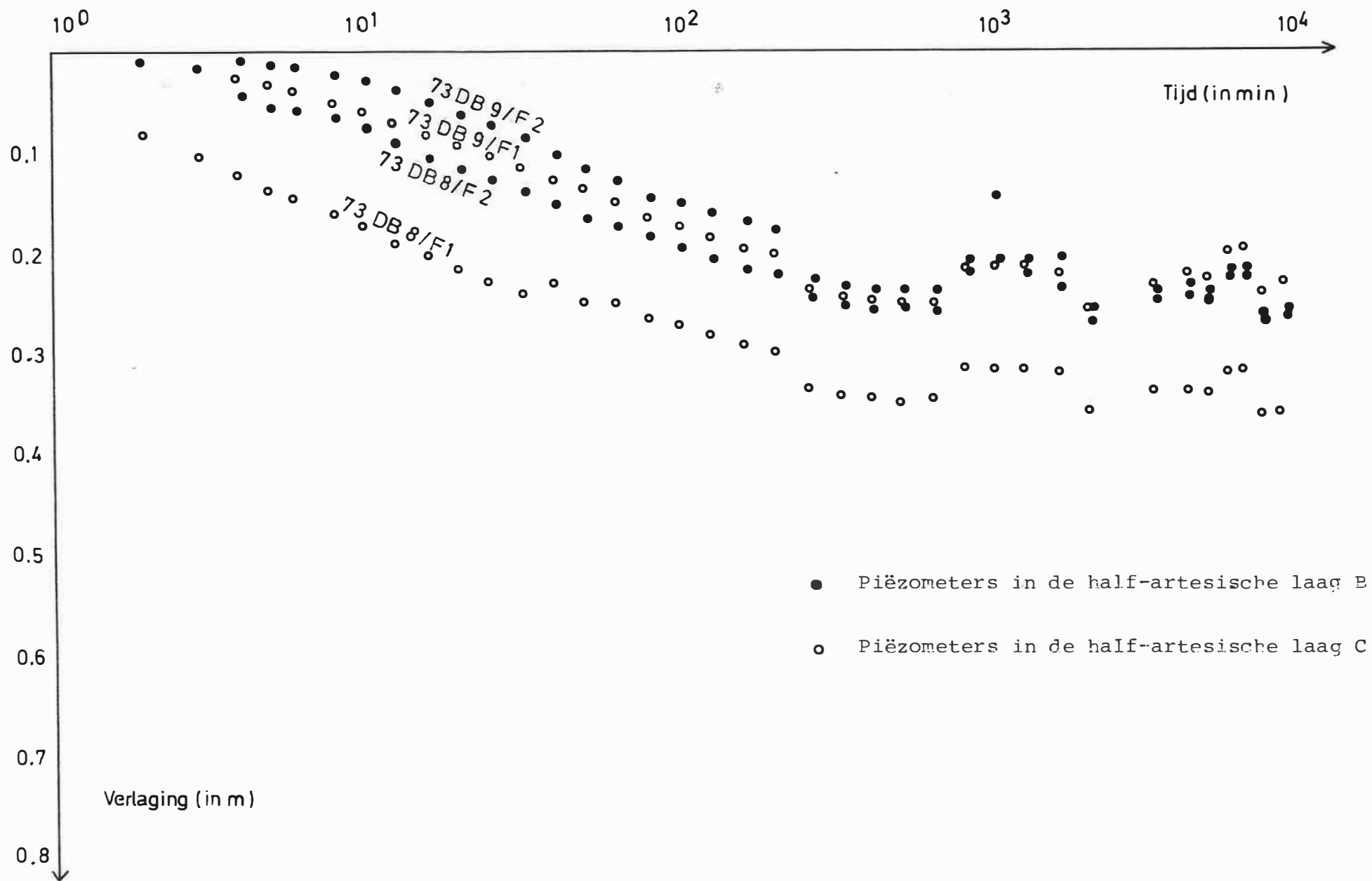


Fig. 8.7. - Tijd- verlagingenkurven op semi-logaritmisch papier van de pompproef op put 73DB7/F1.

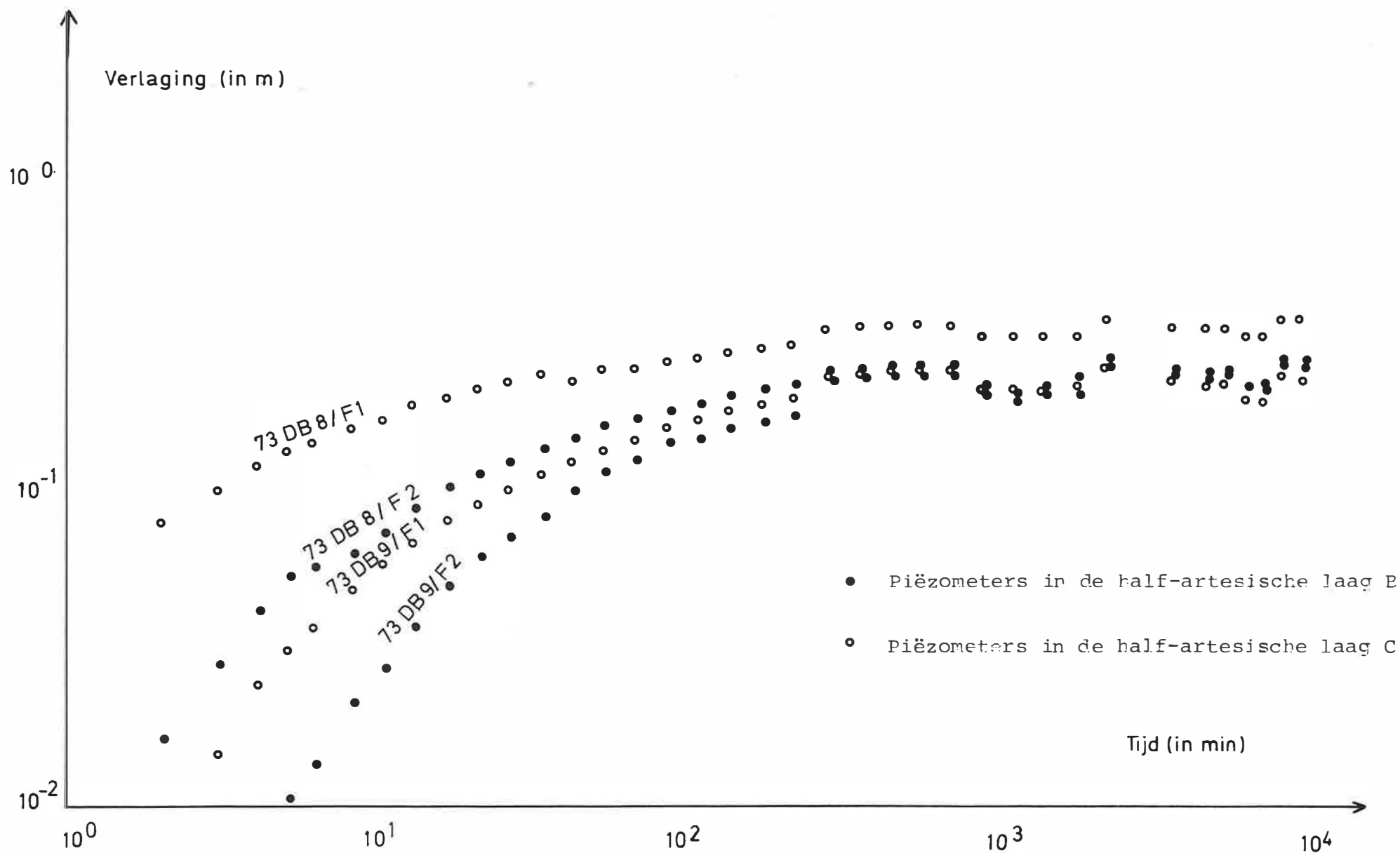


Fig. 8.8.- Tijd- verlagingenkurven op bi-logaritmisch papier van de pompproef op put 73DB7/F1.

Tabel 8.12 - Interpretatie van de pompproef op 73DB7/F1 in de half-artesische laag C, volgens WALTON, voor de piëzometers in de half-artesische laag B

Piëzometer							
73DB8/F2	50 m	250 m	1460 m ² /d	$3,56 \times 10^{-3}$	40 d	102 m	14,3 m/d
73DB9/F2	100 m	330 m	1320 m ² /d	$2,42 \times 10^{-3}$	80 d	102 m	12,9 m/d

Volgens het simulatiemodel (L. LEBBE, 1981) leidt dit tot de volgende hydraulische parameters :

- de transmissiviteit van laag C bedraagt 1060 m²/d, de elastische bergingscoëfficiënt $6,6 \times 10^{-4}$
- de hydraulische weerstand van laag C' bedraagt 10 dagen
- de transmissiviteit van laag B bedraagt 660 m²/d, de elastische bergingscoëfficiënt $7,1 \times 10^{-4}$
- de hydraulische weerstand van laag B' bedraagt 500 dagen
- voor de transmissiviteit van laag A werd 150 m²/d genomen voor de elastische bergingscoëfficiënt $3,6 \times 10^{-4}$ en voor de bergingscoëfficiënt nabij de watertafel 0,2.

Op fig. 8.9 zijn de tijd-verlagingskurven en de afstand-verlagingskurven van de drie lagen voorgesteld, berekend volgens het simulatiemodel; de tabellen 8.13, 8.14 en 8.15 geven de grondwaterbalans van de drie lagen weer.

8.3.2. Stijging

Na 14.415 min. werd de pompelpomp stilgelegd op 14 juli 1980 te 11u15.

De stijghoogten werden volgens een logaritmisch tijdsverloop opgenomen (aanhangsel 5). Voor de piëzometers die rechtstreeks geïnterpreteerd werden volgens de methode van JACOB zijn de gegevens verwerkt tot semi-logaritmische kurven van de restverlaging t.o.v. de verhouding t/t' . Voor de verbetering van de metingen werd gesteund op de getuigeput 73DB2/F1 (fig. 8.10). Tijdens de pompproef viel er zeer veel neerslag. Deze invloed is niet volledig uit te schakelen.

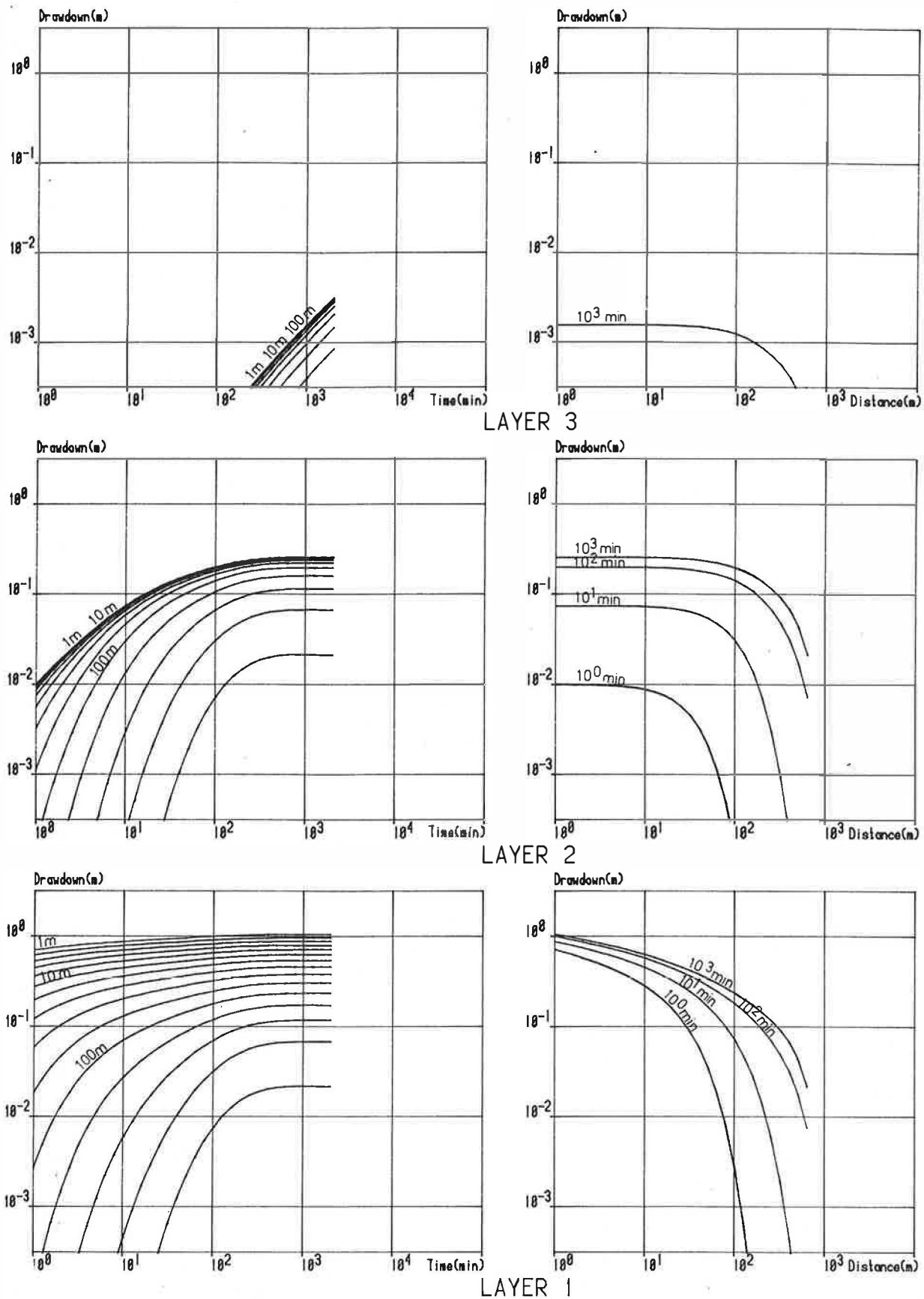


Fig. 8.9. - Tijd- verlagings- en tijd- afstandskurven in de drie lagen, van de pompproef op put 73DB7/F1 berekend, met het simulatiemodel (L. LEBBE, 1981)

Tabel 8.13 - Grondwaterbalans van de half-artesische laag C tijdens de pompproef op put 73DB7/F1

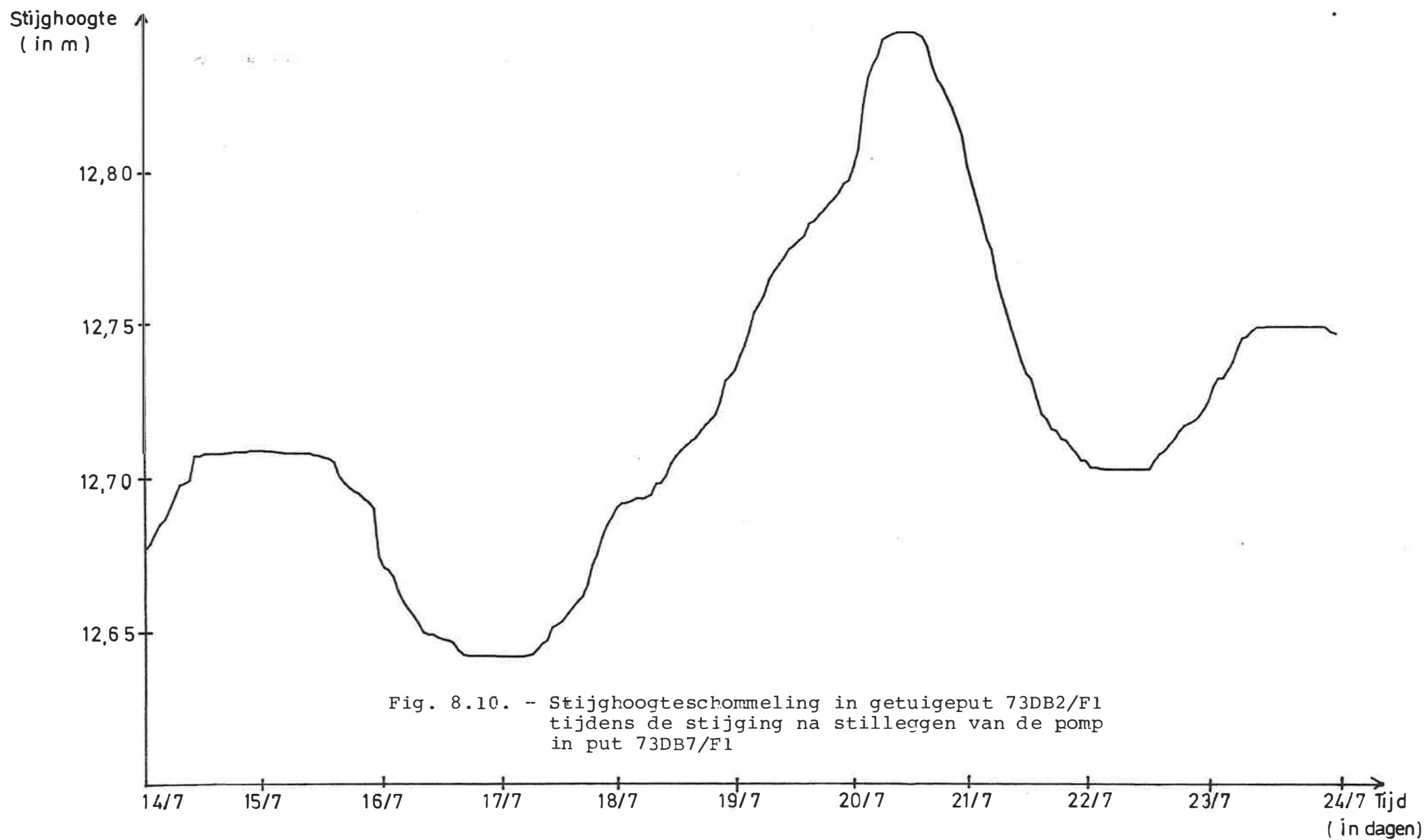
TIME (MIN)	Q (M ³ /DAY)	ST (M ³ /DAY)	NU (M ³ /DAY)	NL (M ³ /DAY)	HS (M ³ /DAY)
1.00	-1243.00	1136.62	106.38	0.00	0.00
1.26	-1243.00	1109.74	133.26	0.00	0.00
1.50	-1243.00	1077.99	165.01	0.00	0.00
2.00	-1243.00	1041.08	201.92	0.00	0.00
2.51	-1243.00	999.00	244.00	0.00	0.00
3.16	-1243.00	952.17	290.83	0.00	0.00
3.98	-1243.00	901.56	341.44	0.00	0.00
5.01	-1243.00	848.78	394.21	0.00	0.00
6.31	-1243.00	796.04	446.94	0.00	0.00
7.94	-1243.00	745.93	497.00	0.00	0.00
10.00	-1243.00	701.00	541.78	0.00	0.00
12.59	-1243.00	663.16	579.19	0.00	0.00
15.85	-1243.00	633.14	608.14	0.00	1.72
19.95	-1243.00	610.05	628.78	0.00	4.17
25.12	-1243.00	591.43	642.27	0.00	9.30
31.62	-1243.00	573.66	650.26	0.00	19.09
39.81	-1243.00	552.59	654.25	0.00	36.16
50.12	-1243.00	524.41	655.23	0.00	63.37
63.10	-1243.00	486.34	653.67	0.00	102.99
79.43	-1243.00	437.34	649.82	0.00	155.84
100.00	-1243.00	378.58	643.90	0.00	220.52
125.89	-1243.00	313.05	636.64	0.00	293.31
156.49	-1243.00	245.36	628.87	0.00	368.76
199.53	-1243.00	180.73	621.48	0.00	440.79
251.19	-1243.00	123.93	615.15	0.00	503.93
316.23	-1243.00	78.75	609.57	0.00	554.68
398.11	-1243.00	45.34	606.18	0.00	591.48
501.19	-1243.00	23.40	604.37	0.00	615.23
630.96	-1243.00	10.60	603.92	0.00	628.48
794.33	-1243.00	4.00	604.64	0.00	634.36
1000.00	-1243.00	1.02	606.33	0.00	635.65
1258.93	-1243.00	-0.20	609.07	0.00	634.13
1584.89	-1243.00	-0.62	612.74	0.00	630.88
1995.26	-1243.00	-0.74	617.43	0.00	626.30

Tabel 8.14. - Grondwaterbalans van de half-artesische laag B tijdens de pompproef op put 73DB7/F1.

TIME (MIN)	Q (M ³ /DAY)	ST (M ³ /DAY)	NIJ (M ³ /DAY)	NI (M ³ /DAY)	HS (M ³ /DAY)
1.00	0.00	106.27	0.11	-106.38	0.00
1.26	0.00	133.09	0.18	-133.26	0.00
1.58	0.00	164.73	0.28	-165.01	0.00
2.00	0.00	201.48	0.44	-201.92	0.00
2.51	0.00	243.32	0.69	-244.00	0.00
3.16	0.00	289.78	1.05	-290.83	0.00
3.98	0.00	339.84	1.59	-341.44	0.00
5.01	0.00	391.83	2.38	-394.21	0.00
6.31	0.00	443.43	3.50	-446.94	0.00
7.94	0.00	491.91	5.06	-497.00	0.02
10.00	0.00	534.50	7.20	-541.78	0.06
12.59	0.00	568.88	10.07	-579.19	0.21
15.85	0.00	593.61	13.83	-608.14	0.64
19.95	0.00	608.25	18.68	-628.78	1.75
25.12	0.00	612.98	24.84	-642.27	4.30
31.62	0.00	607.97	32.53	-650.26	9.51
39.01	0.00	592.80	41.97	-654.25	19.11
50.12	0.00	566.34	53.32	-655.23	35.00
63.10	0.00	527.37	66.63	-653.67	58.82
79.43	0.00	475.55	81.73	-649.82	91.20
100.00	0.00	412.52	98.22	-643.90	131.38
125.89	0.00	341.54	115.41	-636.64	176.99
158.49	0.00	267.89	132.36	-628.87	224.52
199.53	0.00	197.37	148.08	-621.48	270.00
251.19	0.00	135.33	161.62	-615.15	309.91
316.23	0.00	86.07	172.43	-609.57	341.98
398.11	0.00	49.48	180.21	-606.18	365.16
501.19	0.00	25.50	185.19	-604.37	380.02
630.96	0.00	11.50	187.92	-603.92	388.17
794.33	0.00	4.28	189.07	-604.64	391.56
1000.00	0.00	1.02	189.21	-606.33	391.95
1258.93	0.00	-0.33	188.71	-609.07	396.45
1584.89	0.00	-0.78	187.80	-612.74	387.70
1935.26	0.00	-0.91	186.55	-617.43	383.95

Tabel 8.15. - Grondwaterbalans van de freatische laag A tijdens de pompproef op put 73DB7/F1

TIME(MIN)	Q(M3/DAY)	ST(M3/DAY)	NL(M3/DAY)	NL(M3/DAY)	Hs(M3/DAY)
1.00	0.00	0.11	0.00	-0.11	0.00
1.26	0.00	0.18	0.00	-0.18	0.00
1.58	0.00	0.28	0.00	-0.28	0.00
2.00	0.00	0.44	0.00	-0.44	0.00
2.51	0.00	0.69	0.00	-0.69	0.00
3.16	0.00	1.05	0.00	-1.05	0.00
3.98	0.00	1.59	0.00	-1.59	0.00
5.01	0.00	2.38	0.00	-2.38	0.00
6.31	0.00	3.50	0.00	-3.50	0.00
7.94	0.00	5.06	0.00	-5.06	0.00
10.00	0.00	7.20	0.00	-7.20	0.00
12.59	0.00	10.06	0.00	-10.07	0.00
15.85	0.00	13.82	0.00	-13.83	0.00
19.95	0.00	18.68	0.00	-18.68	0.00
25.12	0.00	24.83	0.00	-24.84	0.00
31.62	0.00	32.52	0.00	-32.53	0.00
39.81	0.00	41.95	0.00	-41.97	0.00
50.12	0.00	53.29	0.00	-53.32	0.00
63.10	0.00	66.58	0.00	-66.63	0.00
79.43	0.00	81.67	0.00	-81.73	0.00
100.00	0.00	98.13	0.00	-98.22	0.01
125.89	0.00	115.27	0.00	-115.41	0.02
158.49	0.00	132.18	0.00	-132.36	0.03
199.53	0.00	147.81	0.00	-148.08	0.05
251.19	0.00	161.26	0.00	-161.62	0.07
316.23	0.00	171.99	0.00	-172.43	0.11
398.11	0.00	179.63	0.00	-180.21	0.15
501.19	0.00	184.45	0.00	-185.19	0.21
630.96	0.00	186.99	0.00	-187.92	0.29
794.33	0.00	187.88	0.00	-189.07	0.39
1000.00	0.00	187.69	0.00	-189.21	0.52
1258.93	0.00	186.78	0.00	-198.71	0.67
1584.89	0.00	185.35	0.00	-187.80	0.87
1995.26	0.00	183.46	0.00	-186.55	1.11



De interpretatie volgens de methode van JACOB leidde tot de volgende resultaten :

Tabel 8.16 - Interpretatie van de restverlagingskurven na stilleggen van de pomp in put 73DB7/F1 in de half-artesische laag C volgens de methode van JACOB

		r	kD
Piëzometers in laag C	73DB7/F2	0,01 m	1470 m ² /d
	73DB8/F1	50 m	1820 m ² /d
	73DB9/F1	100 m	2070 m ² /d

Piëzometers in laag B	73DB8/F2	50 m	2120 m ² /d
	73DB9/F2	100 m	1860 m ² /d

8.4. Besluit

Op figuur 8.11 zijn de hydraulische parameters van de lagen weer te vinden. Het verschil tussen de noordelijke en zuidelijke boring is duidelijk. De hydraulische weerstanden, zowel van de Formatie van Lillo als van de Formatie van de Kempen zijn veel kleiner in het noorden dan in het zuiden, niettegenstaande dat de dikten van de half-doorlatende laag niet noemenswaardig verschillen. Het gevolg is dat de verlagingen in de freatische laag A bij pompen veel kleiner zullen zijn in het zuiden dan in het noorden. Dit wordt bevestigd door de pompproeven (aanhangel 5) en de grondwaterbalansen. Dit geldt uiteraard voor de oppervlakten die door de pompproeven beïnvloed werden. De faciëswisselingen van de Formatie van de Kempen laten niet toe met zekerheid de toestand buiten die zones te voorspellen.

De transmissiviteiten van laag C bereiken een veel lagere waarde in het noorden, terwijl deze van laag B nagenoeg dezelfde zijn. De verlagingen in de lagen B en C zijn trouwens ook veel kleiner in het noorden. Dit is een gevolg van het feit dat wegens de lagere hydraulische weerstand in het noorden van de half-doorlatende laag van de Formatie van de Kempen, er meer water van bovenaf kan doorsijpelen, waardoor de depressietrechter in de half-artesische laag C zich minder ver moet uitbreiden. Dit kan men afleiden uit de grondwaterbalansen van de half-artesische lagen C en B. De resultaten van de

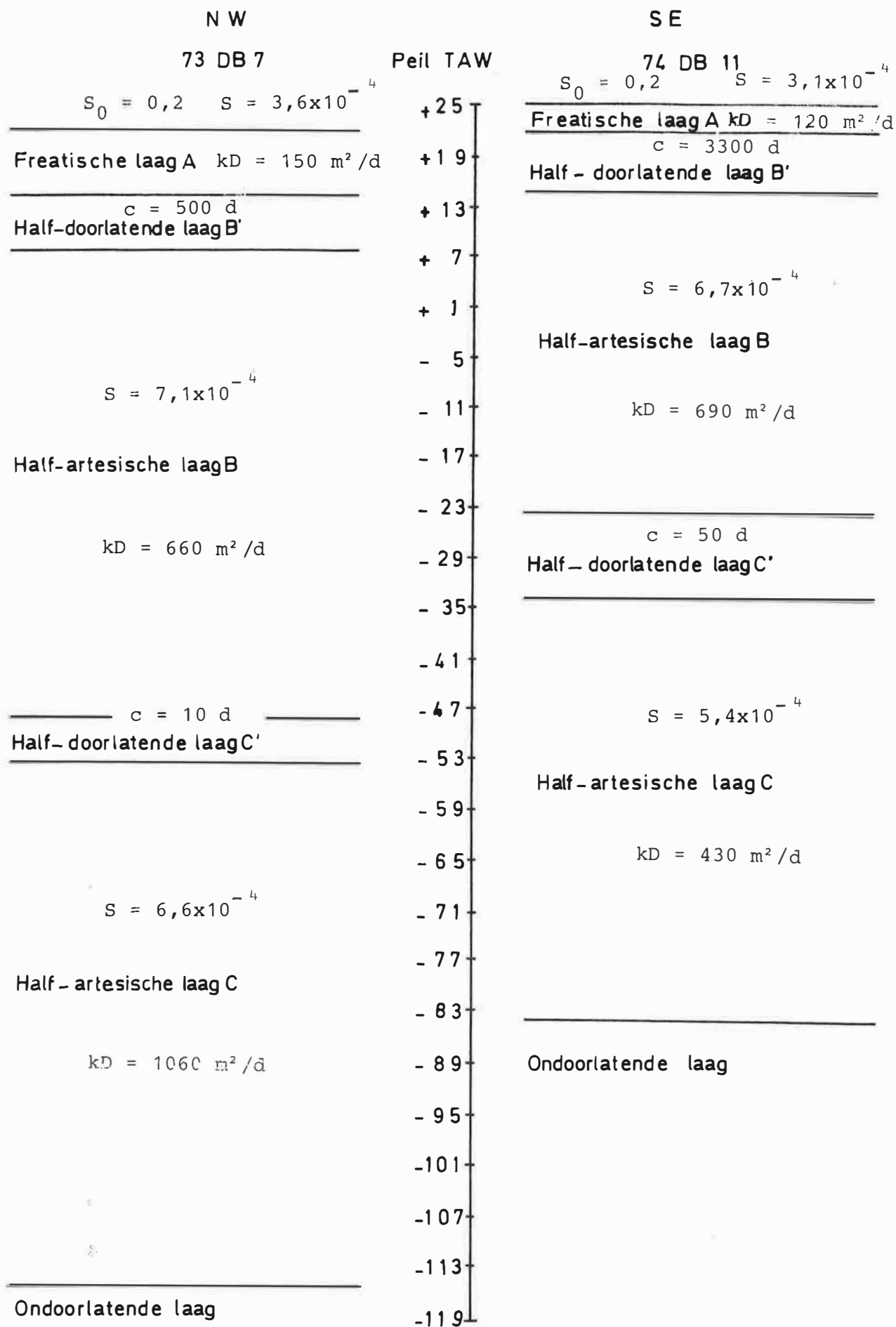


Fig. 8.11. - De hydraulische parameters van de verschillende watervoerende en half-doorlatende lagen.

de stijging geven een gelijkaardig beeld voor de transmissiviteiten te zien. De waarden liggen meestal hoger dan voor de verlagingen en dienen enkel als richtinggevend te worden beschouwd.

9. WATERANALYSEN

9.1. Inleiding

Tijdens de pompproef op put 73DB7/F1 werd, na 10 dagen pompen op 14 juli 1980, een watermonster genomen aan het uiteinde van de afvoerleiding. Dit werd chemischonderzocht in het laboratorium van de R.U.G.

Achteraf werden 2 watermonsters genomen : één uit de put 74DB11/F1 en één uit de put 73DB7/F1, tijdens de verticale stromingsmetingen door T.N.O. op 7 oktober 1980 uitgevoerd. Beide monsters werden chemisch ontleed in het laboratorium van de P.I.D.P.A.

Alle watermonsters komen uit de half-artesische laag C.

9.2. Watermonster genomen tijdens pompproef

Op het terrein werd de kleur, de troebelheid, de reuk, de smaak en de temperatuur van het water en van de lucht bepaald. De buffercapaciteit werd titrimetrisch gemeten t.o.v. fenolftaleïne, (alkalische titer, TA) en t.o.v. een mengindicator (totale alkalische titer, TAC). De eerste (TA) heeft betrekking op een deel van de aardalkalijkarbonaten, de tweede (TAC) op het geheel van karbonaten en bikarbonaten.

In het laboratorium bepaalt men de verdampingsrest, de verzettingsrest, het gehalte aan bezinkbare, zwevende en organische stoffen, het gehalte aan SiO_2 , de totale, blijvende en tijdelijke hardheid. Verder meet men ook de zuurtegraad, de resistiviteit en de geleidbaarheid.

De ionenbalans wordt opgesteld met de kationen Na^+ , K^+ , Ca^{++} , Mg^{++} , Fe (Fe^{++} en Fe^{+++}), Mn^{++} en NH_4^+ en de anionen Cl^- , SO_4^{--} , NO_3^- , HCO_3^- , CO_3^{--} , PO_4^{---} . Hij moet voldoen aan de voorwaarde :

$$-5 < \frac{\sum \text{kationen} - \sum \text{anionen}}{\sum \text{kationen} + \sum \text{anionen}} \times 100 < 5$$

De resultaten van de wateranalyses zijn voorgesteld in tabel 9.1.

Tabel 9.1 - Wateranalyse op monster genomen uit 73DB7/F1,
filterdiepte 78,30 tot 136,25 m

Kleur	Kleurloos
Troebelheid	Helder
Reuk	Reukloos
Smaak	Zoet
Temperatuur van het water (°C)	11,8
Temperatuur van de lucht (°C)	14,9
Alkaliniteit t.o.v. fenolftaleïne (Fr°)	0
Alkaliniteit t.o.v. methylooranje (Fr°)	17,35
Verdampingsrest/105°C (mg/l)	210
Verassingsrest/600°C (mg/l)	133
Bezinkbare stoffen	0
Agressief CO ₂ (mg/l)	0
Zwevende stoffen/105°C (mg/l)	1,6
Zwevende stoffen/600°C (mg/l)	0,8
Zwevende stoffen, kleur	Rood-bruin
Zwevende stoffen, % calcinatieverlies	50,0
Organische stoffen, koud 3 min (mg/l O ₂)	0
Organische stoffen, warm 10 min (mg/l O ₂)	2,46
SiO ₂ (mg/l)	18,61
Totale hardheid (Fr°)	16,96
Tijdelijke hardheid (Fr°)	14,10
Blijvende hardheid (Fr°)	2,86
pH	7,4
Resistiviteit (m)	33,9
Geleidbaarheid (µS/cm bij 18°C)	343,8

Ionenbalans

<u>Kationen</u>	<u>mg/l</u>	<u>mé/l</u>
Na +	11,62	0,505
K +	9,75	0,249
Ca ++	49,52	2,472
Mg ++	4,60	0,378
Fe +++ (+Fe ++)	0,78	0,042
Mn ++	0,05	0,002
NH ₄ +	1,03	0,057
Totaal (+)	77,35	3,705
<u>Anionen</u>	<u>mg/l</u>	<u>mé/l</u>
Cl -	11,22	0,316
SO ₄ --	2,68	0,056
NO ₃ -	0,24	0,004
NO ₂ -	0,01	sp
HCO ₃ -	211,67	3,470
CO ₃ --	0	0
PO ₄ ---	0,69	0,022
Totaal (-)	226,51	3,868

Totaal anionen + kationen 303,86

Deze gegevens leiden tot de volgende verhoudingen :

Mg/Ca (%)	15,3
SO ₄ /Cl (%)	17,7
$\Sigma_{Kat} = Na^{+} + K^{+} + Ca^{++} + Mg^{++}$ (mé/l)	3,6
$(Na^{+} + K^{+}) / \Sigma_{Kat}$ (%)	20,92
Ca^{++} / Σ_{Kat} (%)	68,59
Mg^{++} / Σ_{Kat} (%)	10,49
$\Sigma_{An} = Cl^{-} + SO_4^{--} + HCO_3^{-} + CO_3^{--}$ (mé/l)	3,8
Cl^{-} / Σ_{An} (%)	8,22
SO_4^{--} / Σ_{An} (%)	1,46
$(HCO_3^{-} + CO_3^{--}) / \Sigma_{An}$ (%)	90,32

Deze waarden zijn in een Piper-diagram, bestaande uit een ruit en twee driehoeksdiagrammen, voorgesteld (fig. 9.1).

Volgens het klassifikatiesysteem van G. DE MOOR en W. DE BREUCK (1969) wordt dit monster tot de zoete waters gerekend.

De belangrijkste anionen zijn de bikarbonaten die ca. 90% uitmaken van het totale anionengehalte. Calciumionen zijn de belangrijkste kationen ; ze omvatten ca. 75 % van het totale kationengehalte.

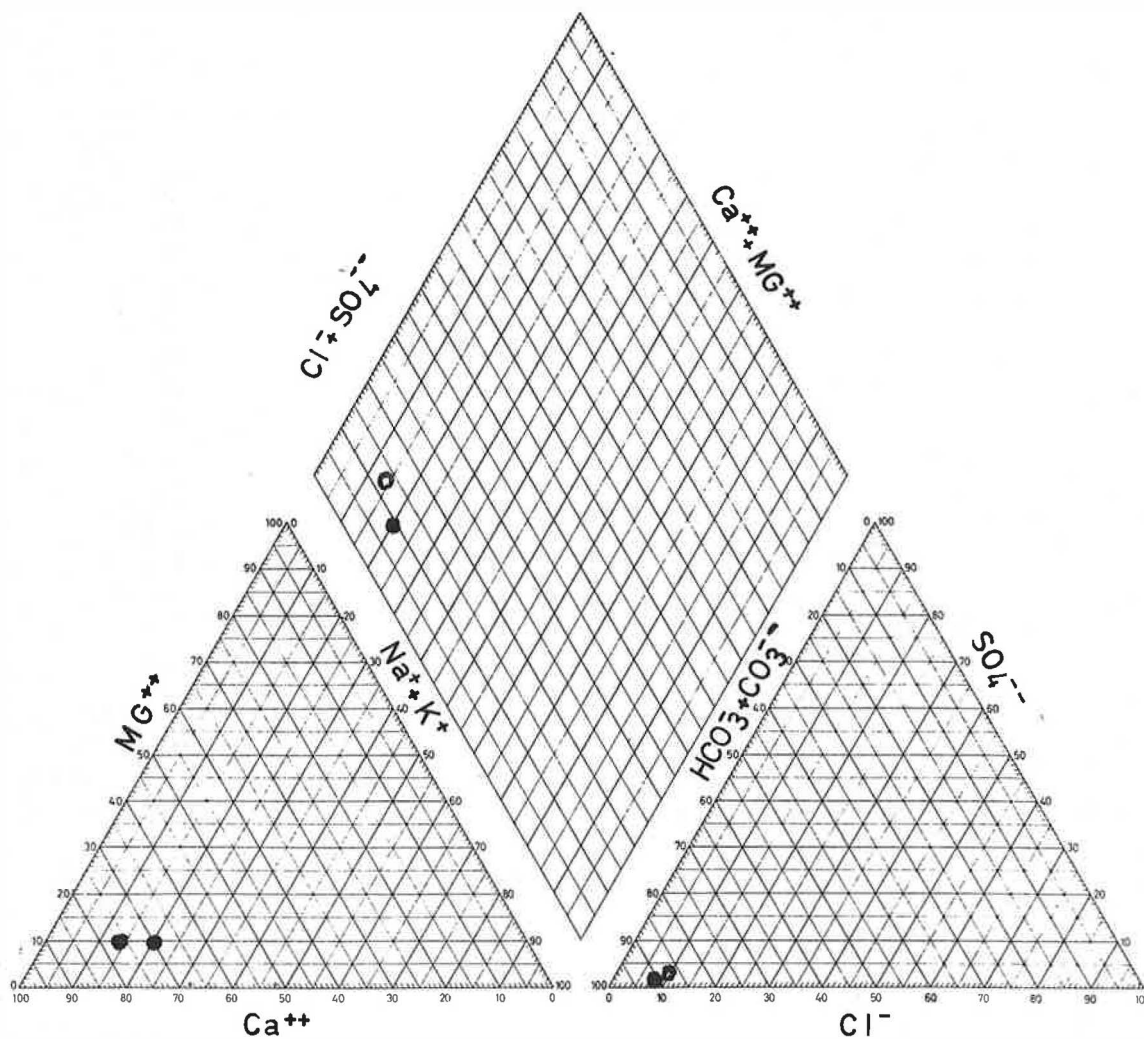
Van de eisen die gesteld worden aan drinkwater (Belgische reglementering) wijkt enkel het ijzergehalte af met 0,78 mg/l, waar er slechts 0,3 mg/l is toegestaan.

9.3. Watermonsters genomen tijdens de verticale stromingsmetingen

Deze wateranalysen waren minder uitgebreid (tab. 9.2). Ze laten toe de kwaliteit van het water in de half-artesische laag C in het noorden en het zuiden van het gebied met elkaar te vergelijken.

Het water in het noorden blijkt een lagere hardheidsgraad te hebben en minder CO₂ te bevatten. Het bevat ook minder ammonium maar meer nitraten. Dit is waarschijnlijk te wijten aan de grotere diepte; het ammonium is er in meerdere mate omgezet tot nitraten.

Fig. 9.1 - Piper-diagram van de wateranalysen



● Monsters genomen tijdens pompproef

○ Monsters genomen tijdens verticale stromingsmeting

Algemeen kan men zeggen dat zowel wat kationen als anionen betreft, het diepere water uit het noorden minder zout bevat, maar dat de onderlinge verhoudingen gelijk blijven.

De resultaten van de analyse levert volgende verhoudingen :

	<u>74DB11/F1</u>	<u>73DB7/F1</u>
$\Sigma_{\text{Kat}} = \text{Na}^+ + \text{K}^+ + \text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++}$	4,256	3,794
$100 \times (\text{Na}^+ + \text{K}^+) / \Sigma_{\text{Kat}}$	13,02 %	14,26 %
$100 \times \text{Ca}^{++} / \Sigma_{\text{Kat}}$	77,89 %	76,86 %
$100 \times \text{Mg}^{++} / \Sigma_{\text{Kat}}$	9,09 %	8,88 %
$\Sigma_{\text{An}} = \text{Cl}^- + \text{SO}_4^{--} + \text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{--}$	4,47	3,984
$100 \times \text{Cl}^- / \Sigma_{\text{An}}$	9,45 %	10,77 %
$100 \times \text{SO}_4^{--} / \Sigma_{\text{An}}$	2,32 %	2,61 %
$100 \times (\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{--}) / \Sigma_{\text{An}}$	88,23 %	86,62 %

Volgens het Piper-diagram en de klassifikatie volgens G. DE MOOR en W. DE BREUCK zijn beide zoete waters gekenmerkt door een overwicht aan aardalkaliën (80 % van de kationen) en een hoog gehalte aan bikarbonaat (65 % van de anionen).

Tabel 9.2 - Wateranalyse op de monsters genomen uit de pompput
73DB7/F1 en 74DB11/F1, respectievelijke filterdiepten
59,10 tot 109,80 en 78,30 tot 136,25

	<u>74DB11/F1</u>	<u>73DB7/F1</u>
KMnO ₄ -verbruik (mg/l O ₂)	2,04	2,88
Geleidbaarheid (μS/cm bij 20°C)	370	329
pH (glaselektrode)	7,35	7,42
TAP (fenolftaleïne) (Fr°)	0	0
TAM (methylooranje) (Fr°)	19,75	17,25
Totale hardheid (Fr°)	18,5	16,3
Bicarbonaathardheid (Fr°)	16,6	14,6
Blijvende hardheid (Fr°)	1,9	1,7
Opgeloste O ₂ (amperometrisch) (mg/l)	0,82	2,15
Vrij CO ₂ (mg/l)	22,88	17,60
Kalkagressief CO ₂ (mg/l)	11,1	9,6

Ionenbalans

Kationen

Na ⁺	8,2	8,1
K ⁺	7,7	7,4
Ca ⁺⁺	66,4	58,4
Mg ⁺⁺	4,7	4,1
Fe ⁺⁺ en Fe ⁺⁺⁺	4,43	3,09
NH ₄ ⁺	1,01	0,67
Totaal (+)	92,44	81,76

Anionen

Cl ⁻	15,0	15,2
SO ₄ ⁻⁻	<5	5
NO ₃ ⁻	<0,10	0,11
HCO ₃ ⁻	214,0	210,5
CO ₃ ⁻⁻	0	0
OH ⁻	0	0
Totaal (-)	261	230,81

Tabel 9.2 - vervolg

	<u>74DB11/F1</u>	<u>73DB7/F1</u>
<u>Spore-elementen</u>		
Mn ⁺⁺	0,207	0,198
Al ⁺⁺⁺	0,015	0,020
Zn ⁺⁺	<0,005	0,021
Pb ⁺⁺	<0,010	<0,010
As	<0,005	<0,005
Cr	0,005	0,007
NO ₂	0,003	0,003
B	<0,005	0,33
Sr	0,362	0,298

10. WATERBALANS VAN DE ONVERZADIGDE ZONE

10.1. Inleiding

Uitgaande van meteorologische gegevens en van bodemkarakteristieken werd een waterbalans van de onverzadigde zone over een periode van 20 jaar opgesteld. Hieruit kan men de werkelijke evapotranspiratie, de infiltratie naar het grondwater en de verandering in berging van de onverzadigde zone afleiden.

10.2. De potentiële evapotranspiratie (PET)

De potentiële evapotranspiratie is berekend met de gewijzigde formule van PENMAN (1952).

$$PET = \frac{\frac{R_N}{L} \cdot F'_T + \gamma \cdot E_a}{F'_T + \frac{\gamma}{S_F \cdot D}}$$

Hierin is :

R_N = de netto energie van de straling, zijnde het verschil tussen inkomende en uitgaande straling, zowel van de korte (R_S = zon + heelal ↓, albedo ↑) als van de lange (R_L = atmosfeer ↓, aarde ↑) golven (J.F. GRIFFITHS, 1976; E.L. DEACON, 1969)

$$= R_S \downarrow - R_S \uparrow + R_L \downarrow - R_L \uparrow$$

$$= \{ (1-a) R_G (0,18 + 0,62 \frac{h}{H}) \} + \{ - \sigma T_K^4 (0,56 - 0,08/e) \cdot (0,10 + 0,90 \frac{h}{H}) \}$$

met R_G = theoretisch mogelijke energie van de inkomende zonnestraling aan het oppervlak van de atmosfeer ($W \cdot cm^{-2}$)

a = albedo van de inkomende korte golfstraling aan het oppervlak, uitgedrukt in een fraktie van 1; rekening houdend met de aard van het oppervlak werd voor het studiegebied 0,18 gevonden

h = werkelijke zonneshijnduur (h)

H = theoretisch of astronomisch mogelijke zonneshijnduur (h)

σ = konstante van Stefan-Boltzmann = $5,67032 \times 10^{-8} Wm^{-2} K^{-4}$

T_K = luchttemperatuur ($^{\circ}K$)

e = waterdampdruk in de meteokooi (mb)

L = latente verdampingswarmte van water = $247 J/cm^2$

$$F'_T = \frac{de}{dt} = \lim_T \frac{e_{st} - e_w}{T_{st} - T}$$

met : e_{st} = waterdampdruk bij de heersende temperatuur van een blad van het vegetatiedek
 e_w = verzadigde waterdampdruk bij de heersende luchttemperatuur
 T_{st} = gemiddelde temperatuur van het blad
 T = gemiddelde luchttemperatuur in de meteokooi

γ = psychrometrische konstante bij 1015 mb = 0,65 mb/°C

E_a = het evaporatievermogen van de lucht of de hoeveelheid water die een wateroppervlak zou verdampen indien de temperatuur gelijk is aan de temperatuur van de lucht
 $= (e_w - e) \cdot f(V)$

met : e_w = verzadigde waterdampdruk bij de heersende luchttemperatuur
 e = heersende waterdampdruk in de meteokooi
 $f(V) = 0,26 (1 + 0,4 V)$ en V = windsnelheid op 10 m hoogte

S_F = stomatale faktor
 $= L_s / (L_a + L_s)$

met : $L_a = 0,65 / (1 + V_2/100)$ en V_2 = windsnelheid op 2 m hoogte
 $L_a + L_s$ = effectieve lengte van een blad
 L_s = faktor o.a. afhankelijk van het percent bladoppervlak- te ingenomen door huidmondjes en van de dikte van de epidermis

$$D = \frac{N}{24} + \frac{1}{2} \frac{(T_{\max} - T_{\min})}{T - T_D} \times \sin N \pi/24$$

met : N = duur van het daglicht of theoretisch mogelijke zonne- schijnduur
 T_{\max} = de maximale temperatuur in °C
 T_{\min} = de minimale temperatuur in °C
 T = gemiddelde temperatuur in °C
 T_D = dauwpunt in °C

Voor de berekeningen is gesteund op de gegevens van het meteostation Deurne-Antwerpen (Regie der Luchtwegen), het dichtsbijgelegen station dat al de vereiste metingen uitvoert (+ 25 km van Kalmthout).

Daar de meeste gegevens dagelijks en sommige zelfs om het uur zijn waargenomen werden deze eerst tot maandelijkse gegevens verwerkt, hetgeen uiteraard veel tijd in beslag heeft genomen.

De gegevens werden verzameld voor een periode van 20 jaar. Door middel van een tafelrekenmachine TEKTRONIX 4051 werd de potentiële evapotranspiratie (PET) in mm berekend (tab. 10.1).

10.3. De waterbalans van de bodem

Uit de potentiële evapotranspiratie en de neerslag van elke maand berekent men de werkelijke evapotranspiratie, de berging van water in de bodem en hetzij het tekort aan water (DEF), hetzij het overschot (SUR). Het overschot is het water dat naar de grondwatertafel infiltreert. Dit alles werd berekend volgens de methode van C.W. THORNTWAITE & J.P. MATHER (1975).

Men kan twee gevallen onderscheiden :

1. De PET is groter dan de neerslag.

Dan is de werkelijke evapotranspiratie AET : (AET = neerslag R + bergingsverandering ΔSt). De ΔSt is hier de hoeveelheid water die door de wortels in een periode van watertekort uit de waterreserve van de bodem geput wordt om aan de vraag van de PET te voldoen. De berging van de bodem St en de geakkumuleerde potentiële tekorten APWL vormen een exponentiële functie :

$$St = CAP \cdot e^{\frac{APWL}{CAP}}$$

waarin CAP de capaciteit van de bodem is, dit is de maximale berging of het voorhanden zijnde water in de bodem voor het evapotranspiratieproces. De CAP wordt bekomen uit het produkt van de gemiddelde worteldiepte (in m) van de voorkomende planten en het percentage water dat beschikbaar is voor de plant afgeleid uit de pF-kurve. Voor de CAP werd 100 mm gekozen.

Het tekort DEF wordt als volgt verkregen :

$$DEF = PET - AET.$$

2. De PET is kleiner dan de neerslag.

Dan is $AET = PET$ en $DEF = 0$. Het overschot SUR is dan :

$$SUR = R - AET - \Delta St$$

In dit geval is de bergingsverandering ΔSt de aanvulling van de bodemberging tot het maximum, nl. de capaciteit van de bodem.

In tabel 10.2 zijn de resultaten maandelijks weergegeven over een periode van 20 jaar, nl. van 1960 tot 1979.

Tabel 10.1 - De maandelijkse potentiële evapotranspiratie vanaf 1969 tot 1979 volgens PENMAN (1952)

JR	jaar
M	maand
T(C)	maandelijkse gemiddelde temperatuur
TMIN(C)	maandelijkse gemiddelde minimumtemperatuur
TMAX(C)	maandelijkse gemiddelde maximumtemperatuur
TDP(C)	maandelijkse gemiddelde dauwpuntstemperatuur
V(m/s)	maandelijkse gemiddelde windsnelheid
E(MB)	maandelijkse gemiddelde dampspanning
S(%)	zonneshijnduur t.o.v. theoretisch mogelijke
PET(mm)	potentiële evapotranspiratie in mm

blz. 65-69

Tabel 10.2 - Waterbalans van de onverzadigde zone vanaf 1969 tot 1979 volgens THORNTHWAITE en MATHER (1957)

JR	jaar
M	maand
R(mm)	neerslag in mm
PET(mm)	potentiële evapotranspiratie in mm
RMP(mm)	neerslag-potentiële evapotranspiratie in mm
ST(mm)	berging van water in de bodem in mm
DST(mm)	verandering van de berging in mm
AET(mm)	werkelijke evapotranspiratie in mm
DEF(mm)	tekort aan water in mm
SUR(mm)	overschot aan water in mm

blz. 70-74

Tabel 10.1

65.-

JR	II	T	THIN	THAN	TDP	U	E	C	PET
		(m)	(m)	(m)	(m)	(m/s)	(mm)	(%)	(mm)
1960	1	3.6	8.7	8.0	1.2	4.5	7.2	24.2	1.7
1960	2	4.2	0.5	7.6	4.1	4.7	6.8	29.2	6.5
1960	3	6.5	2.6	11.2	2.4	4.2	9.1	29.4	20.1
1960	4	9.4	5.1	13.9	4.6	4.5	9.7	35.8	33.5
1960	5	13.8	7.5	19.4	8.2	2.3	11.5	35.4	55.5
1960	6	15.8	11.4	22.1	11.7	3.9	14.1	44.7	68.0
1960	7	15.9	12.0	19.9	12.0	3.3	14.2	33.1	56.6
1960	8	16.5	12.4	21.0	12.9	3.1	15.1	36.0	51.4
1960	9	13.8	9.3	18.6	11.3	3.2	13.7	35.1	33.3
1960	10	18.9	7.3	14.4	9.0	3.7	11.6	21.9	15.6
1960	11	8.1	5.0	11.0	6.1	5.1	9.5	19.2	7.0
1960	12	3.6	1.7	5.3	2.0	4.2	7.2	9.7	2.1
1961	1	2.7	8.3	5.4	0.7	4.9	6.7	25.4	1.6
1961	2	7.0	2.8	11.2	4.6	4.3	8.3	31.7	7.7
1961	3	7.3	3.5	12.6	4.5	3.0	8.6	38.4	22.8
1961	4	11.5	6.8	15.8	3.4	3.3	11.3	25.8	33.6
1961	5	11.8	7.0	16.3	7.0	4.4	10.1	45.5	53.2
1961	6	15.8	10.2	20.9	11.0	3.5	13.3	43.2	64.0
1961	7	16.1	11.6	20.5	11.7	3.9	10.9	32.3	58.8
1961	8	16.6	12.1	21.1	12.5	3.9	14.7	39.8	55.7
1961	9	17.3	12.8	22.4	14.5	3.1	16.0	38.2	39.9
1961	10	11.0	7.4	15.8	9.4	3.9	12.1	36.8	17.6
1961	11	5.3	2.2	8.2	3.7	4.2	9.2	19.1	3.3
1961	12	2.6	-0.5	5.7	0.5	4.5	7.0	23.3	-1.4
1962	1	4.4	1.3	6.7	2.6	4.8	7.4	26.7	3.0
1962	2	3.5	0.7	6.4	0.6	5.9	6.4	30.7	7.8
1962	3	2.9	-0.6	6.6	-0.5	4.4	6.0	33.9	16.0
1962	4	3.8	4.7	13.0	4.3	5.3	8.3	36.8	34.8
1962	5	10.7	7.1	14.6	6.6	4.4	9.7	29.8	42.9
1962	6	14.6	8.8	19.4	8.8	3.8	11.2	52.9	65.1
1962	7	15.6	11.0	19.8	11.4	3.6	13.5	34.1	57.2
1962	8	16.1	11.9	20.4	11.8	3.8	13.8	40.9	53.8
1962	9	13.5	8.4	18.2	9.7	3.7	11.9	41.6	35.7
1962	10	10.7	6.2	15.2	9.1	3.2	10.8	38.0	17.4
1962	11	4.9	2.2	7.3	2.9	3.7	7.5	12.0	5.2
1962	12	0.0	-3.1	3.3	-1.0	4.8	5.3	28.2	1.5
1963	1	-4.4	-7.2	-1.9	-7.0	4.7	3.6	27.2	6.0
1963	2	-3.0	-6.8	0.0	-5.5	3.5	4.1	29.3	5.3
1963	3	5.5	1.4	9.7	1.9	4.5	7.0	30.3	20.7
1963	4	9.2	4.3	13.7	4.7	3.9	8.4	34.1	33.9
1963	5	11.2	6.2	15.5	6.7	3.7	9.3	36.2	47.9
1963	6	15.9	10.0	20.6	11.3	4.1	13.1	39.8	63.8
1963	7	17.0	11.9	22.1	12.1	3.2	14.0	35.3	63.5
1963	8	15.7	11.9	19.9	11.9	3.7	13.8	25.8	46.3
1963	9	14.4	10.1	18.7	10.8	3.5	12.8	29.7	32.5
1963	10	10.1	5.8	14.0	7.3	3.5	10.1	28.0	16.9
1963	11	8.8	5.4	12.0	6.7	4.6	9.7	25.3	7.4
1963	12	-0.9	-3.6	1.7	-1.6	3.6	5.4	28.0	-2.9

Tabel 10.1 - vervolg

JR	N	T (°)	TMIN (°)	TMAX (°)	TDP (°)	V (m/s)	E (mm)	S (%)	PET (mm)
1964	1	0.9	-1.3	3.2	-0.4	3.2	5.9	13.3	2.1
1964	2	4.5	1.5	7.7	2.2	4.0	7.2	26.0	6.7
1964	3	3.3	-0.1	7.0	-0.1	4.3	6.1	26.3	16.4
1964	4	9.1	5.1	13.4	4.8	4.1	8.6	34.0	31.8
1964	5	14.7	8.9	20.4	9.1	3.6	11.6	49.7	64.6
1964	6	15.7	10.3	21.0	10.8	3.6	13.0	51.5	68.8
1964	7	17.6	12.0	22.9	12.8	3.3	14.8	50.4	78.0
1964	8	16.6	11.7	21.7	11.9	3.5	13.9	47.6	59.4
1964	9	14.0	9.1	20.2	10.6	3.5	12.8	47.7	39.3
1964	10	8.4	4.3	12.5	6.6	3.3	9.3	35.0	17.3
1964	11	6.9	4.4	9.6	5.5	4.0	9.1	15.0	4.8
1964	12	2.9	0.4	5.0	1.3	4.7	6.7	14.9	2.9
1965	1	3.3	1.0	5.6	1.4	4.7	6.7	16.8	4.4
1965	2	2.4	0.0	5.0	-0.5	4.1	5.9	30.4	5.5
1965	3	5.2	0.8	9.8	2.8	4.2	7.4	33.4	19.1
1965	4	3.4	4.3	12.5	5.0	3.7	8.7	30.2	30.6
1965	5	12.4	7.4	17.0	8.1	3.9	10.8	42.7	55.0
1965	6	15.7	10.4	20.7	11.1	3.7	13.2	38.1	61.5
1965	7	15.4	11.2	19.1	12.1	3.8	14.1	26.5	53.7
1965	8	16.2	11.9	21.0	12.4	3.1	14.4	47.1	57.0
1965	9	13.3	7.9	18.3	10.5	3.2	12.7	40.4	36.0
1965	10	9.9	4.2	15.8	7.6	3.0	10.4	55.4	18.6
1965	11	3.5	-0.3	6.8	1.5	4.6	6.8	33.4	2.0
1965	12	5.3	2.8	7.6	3.9	4.8	6.1	10.9	3.6
1966	1	0.3	-2.6	3.2	-0.6	4.0	5.9	21.9	0.3
1966	2	6.2	3.2	9.2	4.3	4.1	8.3	11.1	8.3
1966	3	5.7	2.4	8.7	3.0	4.1	7.6	21.5	17.2
1966	4	9.1	4.7	13.3	6.2	3.6	9.5	23.7	31.1
1966	5	13.0	7.6	18.3	9.8	4.0	10.7	50.9	61.4
1966	6	16.9	11.9	21.8	12.5	3.3	14.5	36.2	62.0
1966	7	15.9	11.7	19.9	12.3	3.4	14.3	30.9	56.4
1966	8	16.2	11.4	21.2	12.3	3.5	14.3	55.1	63.5
1966	9	14.3	9.4	19.4	11.0	3.1	13.2	41.2	35.7
1966	10	11.5	7.7	15.0	10.1	3.0	12.4	23.3	16.6
1966	11	4.5	1.4	7.6	2.9	3.8	7.6	17.9	4.3
1966	12	5.0	2.2	7.4	3.5	4.5	7.9	12.1	3.4
1967	1	3.6	0.5	6.1	2.4	3.7	7.0	21.0	1.7
1967	2	5.6	1.8	9.1	2.3	4.9	7.5	32.5	9.9
1967	3	7.3	3.4	10.8	3.2	4.9	7.7	27.0	21.6
1967	4	0.1	2.9	12.7	3.0	3.9	7.6	63.7	33.6
1967	5	12.8	6.4	17.9	8.0	3.7	10.7	44.2	59.0
1967	6	15.0	10.0	20.0	10.6	3.5	12.8	39.3	59.7
1967	7	18.6	12.0	23.8	13.5	2.6	15.5	51.7	78.3
1967	8	17.1	11.5	22.2	12.8	3.0	14.8	43.4	59.8
1967	9	14.7	9.4	19.2	11.6	2.9	13.7	35.7	34.9
1967	10	12.3	7.9	15.7	9.3	4.3	11.7	29.1	19.9
1967	11	5.3	1.4	6.7	3.5	3.5	7.9	28.4	3.5
1967	12	3.5	0.9	5.9	2.1	4.0	7.1	13.2	2.2

JR	H	T (°C)	TMIN (°C)	TMAX (°C)	TDP (°C)	U (m/s)	E (mm)	S (%)	PET (mm)
1968	1	2.9	-0.6	5.5	1.6	4.2	6.9	13.9	3.6
1968	2	2.1	-0.7	4.5	0.0	3.9	6.1	21.3	5.3
1968	3	7.0	3.1	10.9	2.3	4.7	7.2	32.3	21.7
1968	4	9.8	2.6	15.5	4.1	3.5	8.2	48.3	48.5
1968	5	11.5	6.5	15.7	7.0	3.6	10.0	34.4	47.3
1968	6	15.7	10.5	20.5	11.9	3.6	13.1	35.6	59.3
1968	7	16.6	11.8	21.3	12.2	3.8	14.2	43.9	46.3
1968	8	17.2	13.3	21.6	14.3	3.1	16.3	35.8	55.5
1968	9	14.9	10.6	19.2	14.9	3.1	13.8	33.2	84.4
1968	10	12.7	9.1	15.8	10.8	3.0	12.9	17.1	16.6
1968	11	5.3	2.2	7.9	3.9	3.6	8.1	18.6	3.8
1968	12	0.6	-2.8	3.1	-0.5	3.3	5.9	10.9	1.5
1969	1	5.2	2.3	7.6	3.1	3.8	7.6	3.3	5.2
1969	2	0.8	-2.4	3.7	-1.3	3.9	5.6	19.6	5.6
1969	3	4.0	0.0	8.0	0.8	4.2	6.5	27.1	18.1
1969	4	8.6	3.3	13.4	3.3	4.3	7.8	51.8	37.3
1969	5	13.5	8.0	18.3	8.9	3.5	11.4	39.2	55.8
1969	6	15.5	10.2	20.4	10.1	3.7	12.4	49.3	65.3
1969	7	18.4	13.5	23.1	14.5	2.8	16.5	40.1	69.7
1969	8	17.5	13.1	22.4	13.6	3.2	15.5	41.9	58.6
1969	9	15.0	9.5	19.9	11.8	2.8	13.8	46.3	38.3
1969	10	12.7	8.0	17.8	10.1	2.4	12.3	39.8	18.8
1969	11	7.1	3.7	9.8	4.0	4.7	8.4	22.4	6.6
1969	12	-0.1	-2.7	2.1	-1.9	3.6	5.5	17.5	0.5
1970	1	2.6	-0.3	5.6	-0.3	4.5	6.2	26.1	5.9
1970	2	3.8	0.9	7.3	0.3	4.3	6.4	27.4	15.2
1970	3	6.5	3.7	9.9	3.1	4.4	7.9	25.3	23.4
1970	4	13.4	8.7	18.1	8.4	3.4	11.2	46.9	55.5
1970	5	17.9	11.6	23.6	11.2	3.5	13.6	56.9	76.6
1970	6	16.5	12.3	20.6	11.9	3.7	14.1	40.2	61.4
1970	7	17.3	12.0	22.4	12.7	3.1	14.3	47.5	60.2
1970	8	15.2	10.5	19.9	11.0	3.4	13.3	48.3	37.0
1970	9	11.5	7.8	14.7	8.8	3.9	11.6	24.8	16.1
1970	10	8.5	5.1	11.8	5.5	4.4	9.2	26.0	7.0
1970	12	3.1	0.0	5.4	0.9	3.5	6.9	19.8	0.8
1971	1	3.5	0.0	6.4	1.0	3.9	6.8	18.6	3.3
1971	2	4.8	1.6	7.4	1.5	3.8	7.1	20.5	6.7
1971	3	3.9	-0.1	7.4	0.0	3.9	6.4	32.6	15.7
1971	4	9.9	3.9	10.9	4.2	3.6	8.4	41.1	33.8
1971	5	14.3	8.4	19.6	8.9	2.8	11.7	51.4	60.3
1971	6	14.7	10.9	18.4	10.3	3.3	12.6	33.8	49.7
1971	7	18.6	12.2	23.3	12.8	2.8	15.0	58.1	78.9
1971	8	17.8	13.2	21.8	13.0	3.2	15.1	47.9	57.9
1971	9	14.2	7.7	19.7	9.0	2.5	12.0	54.4	36.1
1971	10	10.8	3.4	15.8	6.9	3.3	10.4	52.9	17.1
1971	11	6.0	2.7	8.6	3.6	3.8	9.2	21.7	4.2
1971	12	5.9	3.4	7.9	3.8	3.5	8.2	13.9	2.5

JR	N	T (°C)	TMIN (°C)	TMAX (°C)	TDP (°C)	U (m/s)	E (mm)	S (%)	PET (mm)
1972	1	2.0	-0.5	4.2	-0.2	3.6	6.3	15.1	2.4
1972	2	4.6	0.9	9.1	1.8	3.3	7.1	27.2	6.4
1972	3	7.2	1.4	12.9	1.4	3.0	6.9	52.6	24.6
1972	4	8.5	4.9	12.4	3.9	4.8	8.3	32.4	30.0
1972	5	12.1	7.6	16.4	6.7	2.7	10.2	38.0	46.8
1972	6	14.1	9.4	18.3	8.6	3.1	11.5	37.5	50.2
1972	7	17.8	13.8	22.1	12.3	3.0	14.8	36.0	58.1
1972	8	16.2	11.7	17.3	10.9	3.3	13.4	40.2	42.7
1972	9	12.6	8.4	17.1	8.4	2.0	11.2	40.8	28.5
1972	10	9.3	4.1	14.2	4.6	2.9	9.3	46.8	16.9
1972	11	7.0	4.2	2.1	4.1	3.9	8.5	22.1	0.2
1972	12	4.4	1.3	7.4	1.5	3.6	7.2	24.7	1.6
1973	1	3.7	1.1	5.8	1.3	2.9	6.0	9.3	3.6
1973	2	3.9	1.1	6.3	-0.4	3.7	6.9	15.6	4.7
1973	3	6.2	1.0	10.2	1.6	3.3	6.9	36.0	19.5
1973	4	7.2	3.2	9.9	2.2	4.4	7.6	36.8	25.3
1973	5	12.8	7.8	17.2	7.6	3.6	10.7	42.2	51.8
1973	6	16.8	11.1	21.9	11.3	3.1	12.6	58.6	72.4
1973	7	17.4	13.5	20.7	12.3	3.6	14.4	39.8	59.8
1973	8	18.5	12.7	24.3	12.3	3.3	14.5	56.0	67.9
1973	9	15.1	10.4	20.1	10.7	3.5	13.3	45.3	35.8
1973	10	9.5	5.2	13.7	6.4	3.4	9.9	39.2	14.9
1973	11	6.1	2.8	9.4	3.0	4.8	7.7	30.0	6.0
1973	12	3.6	0.6	6.1	1.4	4.9	6.8	12.6	4.1
1974	1	6.3	2.9	8.8	2.9	5.2	7.3	21.1	6.1
1974	2	5.1	1.5	7.4	1.2	4.7	6.8	27.7	7.8
1974	3	6.4	2.5	10.2	3.0	4.9	7.7	20.2	19.8
1974	4	9.8	4.6	15.1	2.5	3.7	7.5	51.7	36.3
1974	5	11.0	6.8	16.2	5.4	3.4	9.3	42.5	47.3
1974	6	15.5	10.7	20.0	10.0	3.5	12.6	48.2	60.9
1974	7	16.1	12.2	19.9	10.8	4.8	13.3	39.4	60.3
1974	8	17.0	11.8	21.8	12.1	3.5	14.3	51.3	61.3
1974	9	13.3	9.7	17.4	9.9	4.9	12.4	34.5	34.2
1974	10	7.0	4.3	10.7	5.0	4.0	8.8	24.0	12.7
1974	11	7.3	4.5	9.6	4.4	5.3	3.5	16.5	7.5
1974	12	7.9	5.4	9.9	5.3	6.9	9.1	12.5	6.8
1975	1	6.9	3.6	9.4	5.0	6.2	8.8	19.6	6.1
1975	2	3.7	0.3	8.2	1.2	3.2	6.8	47.4	4.2
1975	3	5.0	2.4	7.9	3.0	4.1	7.7	19.3	15.2
1975	4	8.0	4.0	12.1	5.0	3.7	9.0	33.0	29.8
1975	5	11.7	7.1	16.5	6.4	4.0	9.8	46.8	51.9
1975	6	15.5	10.4	20.2	10.0	3.5	12.6	47.5	61.5
1975	7	18.3	13.5	23.4	13.6	3.5	15.7	48.8	75.3
1975	8	19.6	14.0	25.1	14.6	3.0	16.7	58.9	73.1
1975	9	15.5	11.1	20.0	12.5	3.9	14.6	39.2	37.5
1975	10	8.9	5.4	13.3	6.7	3.1	10.0	31.7	12.7
1975	11	5.4	1.9	9.5	4.0	3.6	8.4	17.4	3.2
1975	12	3.3	0.9	5.1	2.0	3.7	7.1	19.3	0.5

JR	M	T (°C)	TMIN (°C)	TMAX (°C)	TDP (°C)	U (m/s)	E (mm)	S (%)	PET (mm)
1976	1	4.7	2.0	7.2	2.1	6.3	7.7	18.2	3.5
1976	2	3.6	0.4	6.8	1.0	3.6	7.0	22.0	4.8
1976	3	4.2	0.0	8.3	-0.4	4.0	6.2	41.6	17.2
1976	4	8.3	2.6	13.5	2.3	3.6	7.4	53.6	35.3
1976	5	14.1	7.7	19.6	7.4	3.7	10.6	50.7	61.8
1976	6	19.2	12.0	25.1	10.5	3.1	13.2	60.6	79.9
1976	7	20.4	14.6	26.5	12.0	3.2	14.5	54.2	81.6
1976	8	18.5	12.1	24.9	10.4	3.0	13.2	65.9	69.0
1976	9	14.3	9.3	19.4	10.7	2.8	13.2	34.4	32.3
1976	10	11.6	7.9	15.5	9.2	3.3	12.0	27.0	15.4
1976	11	7.2	4.5	9.6	5.3	3.8	9.1	11.5	5.2
1976	12	1.5	-1.2	4.3	-0.1	3.8	6.3	26.3	-1.1
1977	1	3.3	8.4	5.7	2.0	4.2	7.2	19.8	-0.6
1977	2	5.4	4.0	8.8	3.2	4.3	7.9	25.7	5.4
1977	3	7.8	3.6	11.8	4.3	4.3	8.6	34.6	21.4
1977	4	7.4	2.5	11.3	3.1	5.1	8.0	43.6	32.7
1977	5	12.6	7.0	17.4	6.9	4.3	10.1	50.2	58.4
1977	6	14.8	11.2	18.7	11.2	3.4	13.5	27.1	48.0
1977	7	17.2	12.6	21.5	12.3	3.9	14.7	40.0	64.3
1977	8	16.2	11.3	19.6	12.9	2.5	15.2	28.4	45.2
1977	9	13.7	8.6	18.4	11.6	3.1	12.5	38.3	42.1
1977	10	11.7	7.3	16.3	9.3	3.2	12.3	38.8	16.1
1977	11	7.1	4.3	9.6	4.4	5.5	8.8	26.8	4.9
1977	12	5.4	2.3	8.2	3.5	4.2	8.2	20.7	1.0
1978	1	3.3	0.8	5.3	1.0	4.9	6.7	11.3	4.3
1978	2	2.1	-1.1	4.9	-0.3	4.1	6.3	18.1	4.8
1978	3	6.8	3.2	10.6	3.7	5.2	8.1	24.2	20.7
1978	4	7.5	2.9	12.1	3.0	3.6	7.9	39.9	29.7
1978	5	12.4	8.2	16.9	8.4	2.8	11.3	36.0	47.0
1978	6	14.8	10.1	19.5	9.9	3.8	12.5	39.5	56.8
1978	7	15.3	10.4	20.0	11.6	3.2	14.0	36.7	59.9
1978	8	15.4	10.5	20.3	11.2	3.4	13.5	43.6	54.5
1978	9	13.9	10.0	18.3	11.0	4.2	13.3	31.6	32.7
1978	10	11.2	7.1	15.3	8.7	2.6	11.7	32.8	14.4
1978	11	6.1	3.1	9.5	4.2	4.0	8.6	38.5	1.2
1978	12	2.8	-0.6	5.4	0.8	4.5	7.0	17.8	0.2
1979	1	-2.8	-5.7	-4.0	-4.8	4.2	4.7	15.9	1.0
1979	2	0.3	-2.4	2.9	-2.1	3.5	5.4	12.0	4.7
1979	3	5.1	1.8	8.3	2.7	5.1	7.6	29.9	17.9
1979	4	7.7	3.8	12.2	4.5	5.3	8.6	33.1	32.5
1979	5	11.7	7.0	16.7	9.2	3.6	11.5	44.4	53.3
1979	6	15.3	10.8	19.7	12.3	3.2	14.8	36.9	58.7
1979	7	16.4	11.9	20.6	12.7	3.4	15.0	33.2	59.6
1979	8	15.6	11.0	20.4	12.1	3.4	14.7	37.9	52.0
1979	9	14.0	8.7	18.6	10.3	3.2	13.2	43.3	32.8
1979	10	11.3	7.5	15.4	8.7	2.9	11.9	31.6	13.8
1979	11	5.9	2.6	9.2	4.3	4.2	8.6	23.2	3.1
1979	12	6.0	3.9	8.1	4.3	6.0	8.6	8.7	3.7

Tabel 10.2

70.-

JR	P	R (mm)	PET (mm)	RNP (mm)	ST (mm)	PST (mm)	PET (mm)	DEF (mm)	SUR (mm)
1960	1	75.4	1.7	73.7	100.0	0.0	1.7	0.0	73.7
1960	2	38.0	6.5	31.5	100.0	0.0	6.5	0.0	31.5
1960	3	41.4	20.1	21.3	100.0	0.0	20.1	0.0	21.3
1960	4	26.6	33.5	-6.9	93.3	-6.7	33.3	0.2	0.0
1960	5	29.3	55.5	-16.2	79.4	-14.0	53.3	2.2	0.0
1960	6	71.0	68.0	3.0	82.4	3.0	68.0	0.0	0.0
1960	7	123.3	56.6	66.7	100.0	17.6	56.6	0.0	49.1
1960	8	136.5	51.4	85.1	100.0	0.0	51.4	0.0	85.1
1960	9	173.9	33.3	140.6	100.0	0.0	33.3	0.0	140.6
1960	10	130.6	15.6	115.0	100.0	0.0	15.6	0.0	115.0
1960	11	109.8	7.0	102.8	100.0	0.0	7.0	0.0	102.8
1960	12	85.5	2.1	83.4	100.0	0.0	2.1	0.0	83.4
1961	1	103.9	1.6	102.3	100.0	0.0	1.6	0.0	102.3
1961	2	74.5	7.7	66.8	100.0	0.0	7.7	0.0	66.8
1961	3	25.3	22.8	2.5	100.0	0.0	22.8	0.0	2.5
1961	4	85.7	33.6	52.1	100.0	0.0	33.6	0.0	52.1
1961	5	59.1	53.2	5.9	100.0	0.0	53.2	0.0	5.9
1961	6	78.4	64.0	14.4	100.0	0.0	64.0	0.0	14.4
1961	7	82.0	58.8	23.2	100.0	0.0	58.8	0.0	23.2
1961	8	66.8	55.7	11.1	100.0	0.0	55.7	0.0	11.1
1961	9	100.5	39.9	60.6	100.0	0.0	39.9	0.0	60.6
1961	10	145.3	17.6	127.7	100.0	0.0	17.6	0.0	127.7
1961	11	89.5	3.3	86.2	100.0	0.0	3.3	0.0	86.2
1961	12	82.8	-1.4	84.2	100.0	0.0	-1.4	0.0	84.2
1962	1	67.6	3.0	64.6	100.0	0.0	3.0	0.0	64.6
1962	2	53.9	7.8	46.1	100.0	0.0	7.8	0.0	46.1
1962	3	65.7	16.0	49.7	100.0	0.0	16.0	0.0	49.7
1962	4	51.1	34.8	16.3	100.0	0.0	34.8	0.0	16.3
1962	5	74.0	42.9	31.1	100.0	0.0	42.9	0.0	31.1
1962	6	26.4	65.1	-38.7	67.9	-32.1	58.5	6.6	0.0
1962	7	130.3	57.9	72.4	100.0	32.1	57.9	0.0	40.3
1962	8	92.3	53.8	38.5	100.0	0.0	53.8	0.0	38.5
1962	9	50.6	35.7	14.9	100.0	0.0	35.7	0.0	14.9
1962	10	56.5	17.4	39.1	100.0	0.0	17.4	0.0	39.1
1962	11	41.7	5.2	36.5	100.0	0.0	5.2	0.0	36.5
1962	12	99.4	1.5	97.9	100.0	0.0	1.5	0.0	97.9
1963	1	24.0	4.0	20.0	100.0	0.0	4.0	0.0	20.0
1963	2	24.2	5.3	18.9	100.0	0.0	5.3	0.0	18.9
1963	3	56.8	20.7	36.1	100.0	0.0	20.7	0.0	36.1
1963	4	33.4	33.9	-0.5	99.5	-0.5	33.9	0.0	0.0
1963	5	50.7	47.9	2.8	100.0	0.5	47.9	0.0	2.3
1963	6	94.8	63.8	31.0	100.0	0.0	63.8	0.0	31.0
1963	7	18.9	63.5	-44.6	64.0	-36.0	54.9	8.6	0.0
1963	8	91.6	46.3	45.3	100.0	36.0	46.3	0.0	9.3
1963	9	42.0	32.5	9.5	100.0	0.0	32.5	0.0	9.5
1963	10	63.4	16.9	46.5	100.0	0.0	16.9	0.0	46.5
1963	11	99.8	7.4	92.4	100.0	0.0	7.4	0.0	92.4
1963	12	14.1	-2.9	17.0	100.0	0.0	-2.9	0.0	17.0

Tabel 10.2 - vervolg

71.-

JR	N	R (mm)	PET (mm)	RMP (mm)	ST (mm)	DST (mm)	AET (mm)	DEF (mm)	SUR (mm)
1964	1	25.1	2.1	23.0	100.0	0.0	2.1	0.0	23.0
1964	2	34.4	6.7	27.7	100.0	0.0	6.7	0.0	27.7
1964	3	39.8	16.4	23.4	100.0	0.0	16.4	0.0	23.4
1964	4	50.5	31.8	18.7	100.0	0.0	31.8	0.0	18.7
1964	5	15.8	64.6	-48.8	61.4	-38.6	54.4	10.2	0.0
1964	6	128.0	68.8	59.2	100.0	38.6	68.8	0.0	20.6
1964	7	42.7	78.0	-35.3	70.3	-29.7	72.4	5.6	0.0
1964	8	58.2	59.4	-1.2	69.4	-0.8	59.0	0.4	0.0
1964	9	90.6	39.3	51.3	100.0	30.6	39.3	0.0	20.7
1964	10	117.3	17.3	100.0	100.0	0.0	17.3	0.0	100.0
1964	11	103.1	4.8	98.3	100.0	0.0	4.8	0.0	98.3
1964	12	98.5	2.9	95.6	100.0	0.0	2.9	0.0	95.6
1965	1	107.0	4.4	102.6	100.0	0.0	4.4	0.0	102.6
1965	2	23.0	5.5	17.5	100.0	0.0	5.5	0.0	17.5
1965	3	53.9	19.1	34.8	100.0	0.0	19.1	0.0	34.8
1965	4	73.1	30.6	42.5	100.0	0.0	30.6	0.0	42.5
1965	5	76.6	55.0	21.6	100.0	0.0	55.0	0.0	21.6
1965	6	68.8	61.5	7.3	100.0	0.0	61.5	0.0	7.3
1965	7	145.3	53.7	91.6	100.0	0.0	53.7	0.0	91.6
1965	8	73.5	57.0	16.5	100.0	0.0	57.0	0.0	16.5
1965	9	60.2	36.0	24.2	100.0	0.0	36.0	0.0	24.2
1965	10	15.5	18.6	-3.1	96.9	-3.1	18.6	0.0	0.0
1965	11	67.9	3.9	64.0	100.0	3.1	3.9	0.0	60.9
1965	12	141.4	3.6	137.8	100.0	0.0	3.6	0.0	137.8
1966	1	44.7	0.3	44.4	100.0	0.0	0.3	0.0	44.4
1966	2	76.4	8.3	68.1	100.0	0.0	8.3	0.0	68.1
1966	3	65.7	17.2	48.5	100.0	0.0	17.2	0.0	48.5
1966	4	75.3	31.1	44.2	100.0	0.0	31.1	0.0	44.2
1966	5	46.6	61.4	-14.8	86.2	-13.8	60.4	1.0	0.0
1966	6	114.8	62.0	52.8	100.0	13.8	62.0	0.0	39.0
1966	7	99.5	56.4	43.1	100.0	0.0	56.4	0.0	43.1
1966	8	104.2	63.5	40.7	100.0	0.0	63.5	0.0	40.7
1966	9	34.0	35.7	-1.7	98.3	-1.7	35.7	0.0	0.0
1966	10	82.4	16.6	65.8	100.0	1.7	16.6	0.0	64.1
1966	11	111.5	4.3	107.2	100.0	0.0	4.3	0.0	107.2
1966	12	145.6	3.4	142.2	100.0	0.0	3.4	0.0	142.2
1967	1	34.2	1.7	32.5	100.0	0.0	1.7	0.0	32.5
1967	2	57.2	9.0	48.2	100.0	0.0	9.0	0.0	48.2
1967	3	50.8	21.6	29.2	100.0	0.0	21.6	0.0	29.2
1967	4	26.2	33.6	-7.4	92.9	-7.1	33.3	0.3	0.0
1967	5	71.1	59.0	12.1	100.0	7.1	59.0	0.0	5.0
1967	6	47.3	59.7	-12.4	88.3	-11.7	59.0	0.7	0.0
1967	7	36.1	78.3	-42.2	57.9	-30.4	66.5	11.8	0.0
1967	8	56.7	59.8	-3.1	56.2	-1.8	58.5	1.3	0.0
1967	9	41.0	34.9	6.1	62.3	6.1	34.9	0.0	0.0
1967	10	67.3	19.9	47.4	100.0	37.7	19.9	0.0	9.7
1967	11	62.7	3.5	59.2	100.0	0.0	3.5	0.0	59.2
1967	12	85.0	2.2	82.8	100.0	0.0	2.2	0.0	82.8

JR	N	R (mm)	PET (mm)	RMP (mm)	ST (mm)	DST (mm)	PET (mm)	DEF (mm)	SUR (mm)
1968	1	76.0	3.6	72.4	100.0	0.0	3.6	0.0	72.4
1968	2	56.3	5.3	51.0	100.0	0.0	5.3	0.0	51.0
1968	3	41.1	21.7	19.4	100.0	0.0	21.7	0.0	19.4
1968	4	24.3	40.5	-16.2	85.0	-15.0	39.3	1.2	0.0
1968	5	80.3	47.3	33.0	100.0	15.0	47.3	0.0	18.0
1968	6	69.8	59.3	10.5	100.0	0.0	59.3	0.0	10.5
1968	7	110.1	68.3	41.8	100.0	0.0	68.3	0.0	41.8
1968	8	86.0	55.5	30.5	100.0	0.0	55.5	0.0	30.5
1968	9	112.3	84.4	27.9	100.0	0.0	84.4	0.0	27.9
1968	10	51.9	16.6	35.3	100.0	0.0	16.6	0.0	35.3
1968	11	27.8	3.8	24.0	100.0	0.0	3.8	0.0	24.0
1968	12	44.0	1.5	42.5	100.0	0.0	1.5	0.0	42.5
1969	1	40.2	5.2	35.0	100.0	0.0	5.2	0.0	35.0
1969	2	63.3	5.6	57.7	100.0	0.0	5.6	0.0	57.7
1969	3	51.5	18.1	33.4	100.0	0.0	18.1	0.0	33.4
1969	4	62.7	37.3	25.4	100.0	0.0	37.3	0.0	25.4
1969	5	54.8	55.8	-1.0	99.0	-1.0	55.8	0.0	0.0
1969	6	80.0	65.3	14.7	100.0	1.0	65.3	0.0	13.7
1969	7	68.6	69.7	-1.1	98.9	-1.1	69.7	0.0	0.0
1969	8	139.2	58.6	80.6	100.0	1.1	58.6	0.0	79.5
1969	9	8.9	38.3	-29.4	74.5	-25.5	34.4	3.9	0.0
1969	10	6.7	18.8	-12.1	66.0	-8.5	15.2	3.6	0.0
1969	11	107.7	6.6	101.1	100.0	34.0	6.6	0.0	67.1
1969	12	48.9	0.5	48.4	100.0	0.0	0.5	0.0	48.4
1970	1	62.6	1.8	60.8	100.0	0.0	1.8	0.0	60.8
1970	2	110.7	5.9	104.8	100.0	0.0	5.9	0.0	104.8
1970	3	58.2	15.2	43.0	100.0	0.0	15.2	0.0	43.0
1970	4	84.1	23.4	60.7	100.0	0.0	23.4	0.0	60.7
1970	5	35.1	55.5	-20.4	81.5	-18.5	53.6	1.9	0.0
1970	6	74.7	76.6	-1.9	80.0	-1.5	76.2	0.4	0.0
1970	7	96.8	61.4	35.4	100.0	20.0	61.4	0.0	15.4
1970	8	64.2	60.2	4.0	100.0	0.0	60.2	0.0	4.0
1970	9	91.1	37.0	54.1	100.0	0.0	37.0	0.0	54.1
1970	10	104.0	16.1	87.9	100.0	0.0	16.1	0.0	87.9
1970	11	71.5	7.0	64.5	100.0	0.0	7.0	0.0	64.5
1970	12	33.8	0.8	33.0	100.0	0.0	0.8	0.0	33.0
1971	1	50.4	3.3	47.1	100.0	0.0	3.3	0.0	47.1
1971	2	32.3	6.7	25.6	100.0	0.0	6.7	0.0	25.6
1971	3	39.1	15.7	23.4	100.0	0.0	15.7	0.0	23.4
1971	4	23.0	33.8	-10.8	89.8	-10.2	33.2	0.6	0.0
1971	5	109.4	60.3	49.1	100.0	10.2	60.3	0.0	38.9
1971	6	115.3	49.7	65.6	100.0	0.0	49.7	0.0	65.6
1971	7	40.1	78.9	-38.8	67.8	-32.2	72.3	6.6	0.0
1971	8	40.1	57.9	-17.8	56.8	-11.1	51.2	6.7	0.0
1971	9	15.2	36.1	-20.9	46.1	-10.7	25.9	10.2	0.0
1971	10	24.7	17.1	7.6	53.7	7.6	17.1	0.0	0.0
1971	11	84.8	4.2	80.6	100.0	46.3	4.2	0.0	34.3
1971	12	13.7	2.5	11.2	100.0	0.0	2.5	0.0	11.2

JR	H	R (mm)	PET (mm)	RMP (mm)	ST (mm)	DST (mm)	FET (mm)	DEF (mm)	SUR (mm)
1972	1	61.3	2.4	58.9	100.0	0.0	2.4	0.0	58.9
1972	2	34.9	6.4	28.5	100.0	0.0	6.4	0.0	28.5
1972	3	40.1	24.6	15.5	100.0	0.0	24.6	0.0	15.5
1972	4	74.5	30.0	44.5	100.0	0.0	30.0	0.0	44.5
1972	5	96.1	46.8	49.3	100.0	0.0	46.8	0.0	49.3
1972	6	59.5	50.2	9.3	100.0	0.0	50.2	0.0	9.3
1972	7	89.8	58.1	31.7	100.0	0.0	58.1	0.0	31.7
1972	8	103.1	42.7	60.4	100.0	0.0	42.7	0.0	60.4
1972	9	53.5	28.5	25.0	100.0	0.0	28.5	0.0	25.0
1972	10	31.4	16.9	14.5	100.0	0.0	16.9	0.0	14.5
1972	11	71.0	0.2	70.8	100.0	0.0	0.2	0.0	70.8
1972	12	18.8	1.6	17.2	100.0	0.0	1.6	0.0	17.2
1973	1	29.4	3.6	25.8	100.0	0.0	3.6	0.0	25.8
1973	2	63.8	4.7	59.1	100.0	0.0	4.7	0.0	59.1
1973	3	17.2	19.5	-2.3	97.7	-2.3	19.5	0.0	0.0
1973	4	69.3	25.3	44.0	100.0	2.3	25.3	0.0	41.7
1973	5	89.0	51.8	37.2	100.0	0.0	51.8	0.0	37.2
1973	6	61.5	72.4	-10.9	89.7	-10.3	71.8	0.6	0.0
1973	7	86.7	59.8	26.9	100.0	10.3	59.8	0.0	16.6
1973	8	31.6	67.9	-36.3	69.6	-30.4	62.0	5.9	0.0
1973	9	75.0	35.8	39.2	100.0	30.4	35.8	0.0	8.8
1973	10	72.6	14.9	57.7	100.0	0.0	14.9	0.0	57.7
1973	11	102.0	6.0	96.0	100.0	0.0	6.0	0.0	96.0
1973	12	57.0	4.1	52.9	100.0	0.0	4.1	0.0	52.9
1974	1	67.8	6.1	61.7	100.0	0.0	6.1	0.0	61.7
1974	2	60.9	7.8	53.1	100.0	0.0	7.8	0.0	53.1
1974	3	59.2	19.8	39.4	100.0	0.0	19.8	0.0	39.4
1974	4	17.0	36.3	-19.3	82.4	-17.6	34.6	1.7	0.0
1974	5	29.9	47.3	-17.4	69.3	-13.2	43.1	4.2	0.0
1974	6	49.7	60.9	-11.2	61.9	-7.3	57.0	3.9	0.0
1974	7	85.8	60.3	25.5	87.4	25.5	60.3	0.0	0.0
1974	8	73.6	61.3	12.3	99.7	12.3	61.3	0.0	0.0
1974	9	150.0	34.2	115.8	100.0	0.3	34.2	0.0	115.5
1974	10	151.0	12.7	138.3	100.0	0.0	12.7	0.0	138.3
1974	11	117.9	7.5	110.4	100.0	0.0	7.5	0.0	110.4
1974	12	89.9	6.8	83.1	100.0	0.0	6.8	0.0	83.1
1975	1	72.2	6.1	66.1	100.0	0.0	6.1	0.0	66.1
1975	2	16.0	4.2	11.8	100.0	0.0	4.2	0.0	11.8
1975	3	95.6	15.2	80.4	100.0	0.0	15.2	0.0	80.4
1975	4	75.9	29.8	46.1	100.0	0.0	29.8	0.0	46.1
1975	5	22.2	51.9	-29.7	74.3	-25.7	47.9	4.0	0.0
1975	6	53.8	61.5	-7.7	68.8	-5.5	59.3	2.2	0.0
1975	7	68.4	75.3	-6.9	64.2	-4.6	73.0	2.3	0.0
1975	8	58.7	73.1	-14.4	55.6	-8.6	67.3	5.8	0.0
1975	9	79.8	37.5	42.3	97.9	42.3	37.5	0.0	0.0
1975	10	17.0	13.7	3.3	100.0	2.1	13.7	0.0	1.2
1975	11	112.1	3.2	108.9	100.0	0.0	3.2	0.0	108.9
1975	12	24.4	0.5	23.9	100.0	0.0	0.5	0.0	23.9

JR	N	R (mm)	PET (mm)	RMP (mm)	ST (mm)	DST (mm)	RET (mm)	DEF (mm)	SUR (mm)
1976	1	51.2	3.5	47.7	100.0	0.0	3.5	0.0	47.7
1976	2	24.3	4.8	19.5	100.0	0.0	4.8	0.0	19.5
1976	3	34.6	17.2	17.4	100.0	0.0	17.2	0.0	17.4
1976	4	9.4	35.3	-25.9	77.2	-22.8	32.2	3.1	0.0
1976	5	27.3	61.8	-34.5	54.7	-22.5	49.8	12.0	0.0
1976	6	14.5	79.9	-65.4	28.4	-26.2	40.7	39.2	0.0
1976	7	32.3	81.6	-49.3	17.4	-11.1	43.4	38.2	0.0
1976	8	10.8	69.0	-58.2	9.7	-7.7	18.5	50.5	0.0
1976	9	36.5	32.3	4.2	13.9	4.2	32.3	0.0	0.0
1976	10	34.9	15.4	19.5	33.4	19.5	15.4	0.0	0.0
1976	11	68.5	5.2	63.3	96.7	63.3	5.2	0.0	0.0
1976	12	38.0	-1.1	39.1	100.0	3.3	-1.1	0.0	35.8
1977	1	68.9	-0.6	69.5	100.0	0.0	-0.6	0.0	69.5
1977	2	60.9	5.4	55.5	100.0	0.0	5.4	0.0	55.5
1977	3	36.1	21.4	14.7	100.0	0.0	21.4	0.0	14.7
1977	4	51.9	32.7	19.2	100.0	0.0	32.7	0.0	19.2
1977	5	62.1	58.4	3.7	100.0	0.0	58.4	0.0	3.7
1977	6	84.6	48.0	36.6	100.0	0.0	48.0	0.0	36.6
1977	7	40.0	64.3	-24.3	78.4	-21.6	61.6	2.7	0.0
1977	8	69.6	45.2	24.4	100.0	21.6	45.2	0.0	2.8
1977	9	7.8	42.1	-34.3	71.0	-29.0	36.8	5.3	0.0
1977	10	36.0	16.1	19.9	90.9	19.9	16.1	0.0	0.0
1977	11	130.0	4.9	125.1	100.0	9.1	4.9	0.0	116.0
1977	12	48.6	1.0	47.6	100.0	0.0	1.0	0.0	47.6
1978	1	39.0	4.3	34.7	100.0	0.0	4.3	0.0	34.7
1978	2	31.1	4.8	26.3	100.0	0.0	4.8	0.0	26.3
1978	3	58.7	20.7	38.0	100.0	0.0	20.7	0.0	38.0
1978	4	32.9	29.7	3.2	100.0	0.0	29.7	0.0	3.2
1978	5	55.9	47.0	8.9	100.0	0.0	47.0	0.0	8.9
1978	6	52.9	56.8	-3.9	96.2	-3.8	56.7	0.1	0.0
1978	7	71.0	59.9	11.1	100.0	3.8	59.9	0.0	7.3
1978	8	41.5	54.5	-13.0	87.8	-12.2	53.7	0.8	0.0
1978	9	53.3	32.7	20.6	100.0	12.2	32.7	0.0	8.4
1978	10	57.5	14.4	43.1	100.0	0.0	14.4	0.0	43.1
1978	11	28.0	1.2	26.8	100.0	0.0	1.2	0.0	26.8
1978	12	90.9	0.2	90.7	100.0	0.0	0.2	0.0	90.7
1979	1	46.7	1.0	45.7	100.0	0.0	1.0	0.0	45.7
1979	2	35.5	4.7	30.8	100.0	0.0	4.7	0.0	30.8
1979	3	126.5	17.9	108.6	100.0	0.0	17.9	0.0	108.6
1979	4	58.0	32.5	25.5	100.0	0.0	32.5	0.0	25.5
1979	5	116.8	53.3	63.5	100.0	0.0	53.3	0.0	63.5
1979	6	58.0	58.7	-0.7	99.3	-0.7	58.7	0.0	0.0
1979	7	25.7	59.6	-33.9	70.8	-28.6	54.3	5.3	0.0
1979	8	53.0	52.0	1.0	71.8	1.0	52.0	0.0	0.0
1979	9	9.3	32.8	-23.5	56.5	-15.3	24.6	8.2	0.0
1979	10	42.5	13.8	28.7	85.2	28.7	13.8	0.0	0.0
1979	11	98.6	3.1	95.5	100.0	14.8	3.1	0.0	80.7
1979	12	125.1	3.7	121.4	100.0	0.0	3.7	0.0	121.4

10.4. Besluit

Uit de waterbalans van de onverzadigde zone blijkt dat per jaar het aantal maanden met een watertekort (DEF) meestal beperkt is tot twee of zelfs minder en dat het meestal voorkomt in de periode van mei tot augustus.

Over deze twintig jaar blijkt dat er tussen 1960 en 1975 geen jaren met veel of hoge tekorten voorkomen. Het jaar 1976 vormt echter een belangrijke uitzondering. Gedurende vijf opeenvolgende maanden werden zeer belangrijke tekorten gemeten. Van 1977 tot 1979 was de toestand weer normaal.

Uit de totale hoeveelheid overschot aan water en neerslag per jaar kan men de voedingskoëfficiënt $\frac{SUR}{R}$ per jaar berekenen (Tab. 10.3).

Tabel 10.3 - Jaarlijkse neerslag R (in mm), jaarlijks overschot SUR (in mm) en jaarlijkse voedingskoëfficiënt voor de periode 1960-1979

Jaar	1960	1961	1962	1963	1964	1965	1966	1967	1968	1969
R (mm)	1051,3	993,8	809,5	613,7	804,0	906,2	1000,7	635,6	779,9	732,5
SUR (mm)	702,5	637,0	445,0	283,0	428,0	557,3	641,5	266,6	373,3	360,2
$\frac{SUR}{R}$	0,67	0,64	0,55	0,46	0,53	0,61	0,64	0,42	0,48	0,49
Jaar	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979
R (mm)	886,8	588,1	734,0	755,1	952,7	696,1	382,3	696,5	612,7	795,7
SUR (mm)	528,2	246,1	425,6	395,8	601,5	338,4	120,4	365,6	287,4	476,2
$\frac{SUR}{R}$	0,60	0,42	0,58	0,52	0,63	0,49	0,31	0,52	0,47	0,60

In 1960, 1961, 1965, 1966, 1970, 1971 en 1979 is de grondwateraanvulling belangrijk. In 1963, 1967, 1968, 1969, 1971, 1975 en 1978 is er weinig aanvulling en in 1976 is de aanvulling abnormaal klein.

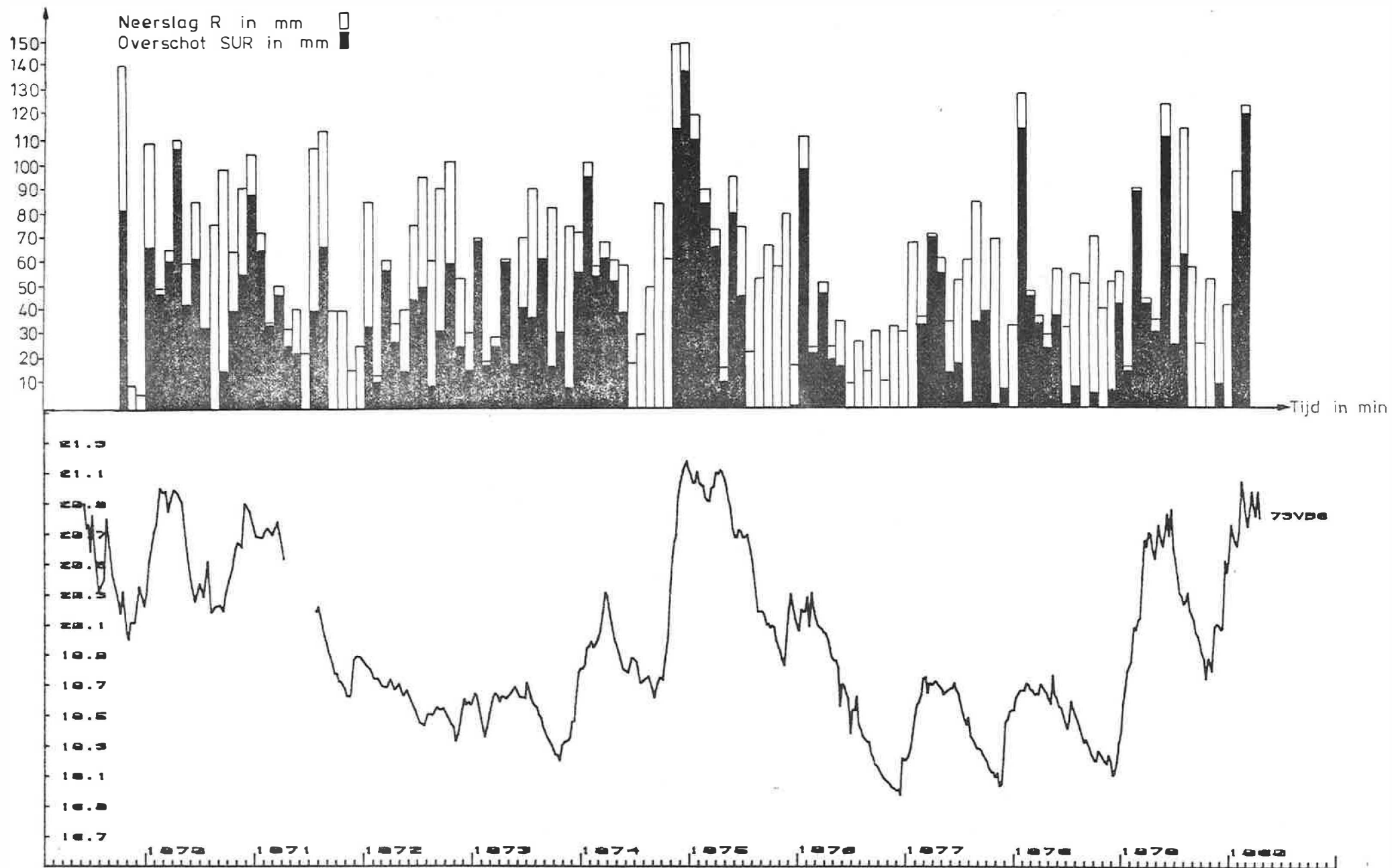


Fig.10.1 ~ Seizoenschommelingen in piëzometer 73VB8 + waterbalans van de bodem

De gemiddelde voedingskoëfficiënt voor het eerste decennium verschilt weinig van die van het volgende decennium

$$\frac{SUR}{R}(1960-1969) = 0,55; \frac{SUR}{R}(1970-1979) = 0,51$$

Gemiddeld is dit voor de twintig jaar : 0,53.

Wanneer we de tabellen van overschot nog eens maandelijks bekijken voor de twee jaren 1974 en 1976 blijkt dat de heropvullingsperiode van 1974 reeds in september begint, maar dat het vooral het abnormaal groot overschot van de maanden september, oktober en november is dat de uitzondering teweeg brengt. Het abnormaal droge jaar 1976 kent zijn oorzaak in een late aanvang van de heropvullingsperiode 1975, eerst in november maar ook de korte duur en de lage waarden van het overschot vallen op. Vanaf april 1976 begint reeds de afvloeiperiode en deze bleef duren tot eind november 1976. De berging (St) van bodemvocht bereikte een belangrijk minimum in augustus 1976.

De bevindingen van de waterbalans werden ook vergeleken met het stijghoogteverloop in de piëzometers. Op fig. 10.1 werden de stijghoogten van piëzometer 73VB8 vergeleken met de neerslag en het wateroverschot dat het grondwater aanvult, over dezelfde periode. De stijghoogten volgen duidelijk deze meteorologische bevindingen, weliswaar met een vertraging van 10 tot 30 dagen.

11. STIJGHOOGTEWAARNEMINGEN

11.1. Inleiding

Alle piëzometers en peillatten, geplaatst in het bestek van deze studie, werden gedurende de duur van dit projekt om de veertien dagen opgemeten door IGEAN. Een overzicht van deze piëzometers is terug te vinden in tabel 5.1, 5.2, 5.3 alsook in aanhangsel 1 : boorbeschrijvingen.

Daarnaast werden ook metingen in de vroeger geplaatste piëzometers uitgevoerd. Deze steken ofwel in de freatische laag A ofwel in de watervoerende horizonten van de half-doorlatende laag. Geen enkele komt voor in de half-artesische laag B.

De ondiepe boringen 73VB1 tot -8 worden meestal wekelijks door Waters en Bossen opgemeten. De piëzometers 73VB6, 7 en 8, geplaatst in opdracht van de PIDPA, verschaffen gegevens vanaf 1969. De piëzometers 73VB1 tot -5 werden in 1974 aangebracht.

De piëzometers 73SB1/F1 en -F2, -SB2/F1 en -F2, -SB3/F1 en -F2, -SB4/F1 en -F2, -SB5/F1 en -F2, -SB6/F1 en -F2, -SB7/F1 en -F2, en 74SB1, -SB2/F1 en -F2, -SB3/F1 en -F2, -SB4 zijn in opdracht van PIDPA geplaatst door middel van spoelboringen tot 15 m diepte (E. VAN DYCK, 1979). Zij worden meestal wekelijks door de PIDPA opgemeten.

De piëzometers, die door het RUCA en de RUG tussen 1974 en 1978 werden ingeplant, worden meestal om de veertien dagen opgemeten : het zijn 73HB15, -16, -17, -18/F1 en -F2, -19/F1 en -F2, -20 en 74HB126/F1 en -F2, -128, -130, -131, -132/F1 en -F2, -133/F1 en -F2, -134, -136, -138, -140/F1 en -F2, -142/F1 en -F2, -143/F1 en -F2. De F1 filters bereiken meestal een diepte van 10 m, de F2 filters zijn boven de bovenste kleilaag aangebracht. De boringen werden met de hand uitgevoerd (E. VAN DYCK, 1979).

De ligging van deze piëzometers kan men terugvinden op fig. 5.1, de plaatsbepalingen in aanhangsel 2.

11.2. Seizoenschommelingen van de stijghoogten

11.2.1. Vroeger geplaatste piëzometers

Alle stijghoogtemetingen zijn in tijd-stijghoogtediagrammen voorgesteld (aanhangsel 6). De vroeger geplaatste piëzometers werden afzonderlijk voorgesteld.

Als de aanvulling van het grondwater niet gelijk is aan de afvoer verandert de grondwaterberging, hetgeen zich uit in wijziging van de grondwaterstand.

Uit de diagrammen van de vroeger geplaatste piëzometers kan men de opeenvolgende afvloeï- en heropvullingsperioden afleiden. Bovendien kan men ook jaren met grotere en kleinere afvloeï- en heropvullingsperioden onderscheiden, die kortweg droge en natte jaren worden genoemd. Bij vergelijking van de stijghoogten met de neerslag en het wateroverschot van de onverzadigde zone, d.w.z. het water dat kan infiltreren (hoofdstuk 10), ziet men volledige overeenstemming, weliswaar met een zekere vertraging. Dit blijkt duidelijk uit fig. 10.1 waarop een vertraging van de aanvulling te merken is van 10 tot 30 dagen. De neerslag heeft bijgevolg een grote invloed op de grondwatertoestand. Wanneer men de diagrammen vergelijkt ziet men dat vooral tijdens de droge jaren de diepere piëzometers in de watervoerende horizonten van de half-doorlatende laag B', een veel kleinere maximum stijghoogte vertonen dan de overeenkomstige piëzometers in de freatische laag. Tijdens natte jaren is dit minder uitgesproken. Bovendien reageren die piëzometers trager : ze bereiken later hun laagste en hun hoogste stand naarmate ze dieper in de half-doorlatende laag voorkomen.

De stijghoogte in de freatische laag is op elke plaats steeds groter dan in de half-doorlatende laag. Het verschil tussen beide wordt groter naarmate de piëzometer van de half-doorlatende zone dieper steekt.

Verder blijkt dat meer noordelijk gelegen piëzometers meer de invloed van droge jaren ondergaan en ook trager van droge jaren herstellen (cfr. 73SB3/F1).

11.2.2. De piëzometers geplaatst in het bestek van deze studie + peillatten

De waarnemingen verlopen meestal over een volledig hydrologisch jaar : ze vangen aan bij het begin van de heropvullingsperiode 1979-1980 en lopen tot het begin van de heropvullingsperiode 1980-1981. Wat steeds opvalt is de plotse stijging in de maand juli in volle afvloeiperiode.

Deze piëzometers werden gegroepeerd uitgezet, rekening houdend met de watervoerende laag, waartoe ze behoren, en met de hydro-isohypsenkaarten.

De piëzometers van de half-artesische laag B, die tussen dezelfde opeenvolgende hydro-isohypsenlijnen voorkomen, werden gezamenlijk voorgesteld (fig. 11.1-4). Hieruit blijkt dat de piëzometers naar het noordwesten toe kleinere maar talrijkere schommelingen vertonen. De stijghoogten zijn steeds kleiner dan die in de watervoerende horizonten van de half-doorlatende laag B' of in de freatische laag A. Ze reageren sneller dan de piëzometers van de half-doorlatende laag B' en bijna even snel als de piëzometers van de freatische laag.

De piëzometers van de half-doorlatende laag B' en die van de freatische laag werden gegroepeerd uitgezet, rekening houdend met de verschillende gebieden van de hydro-isohypsenkaarten (fig. 11.5-8). Hetgeen vastgesteld werd bij de vroeger geplaatste piëzometers geldt eveneens hier : de piëzometers in watervoerende horizonten van de half-doorlatende laag B' reageren trager en hebben kleinere stijghoogten dan de overeenkomstige piëzometers in de freatische laag.

De piëzometers in de freatische laag aan de noordwestrand en noordrand van het geklasseerd gebied blijken grotere schommelingen te vertonen. De piëzometers boven een dikke kleilaag evenals degene in een dik zandpakket boven de bovenste kleilaag (fig. 5.11) vertonen minder grote schommelingen.

In 11 oppervlaktewateren werden peillatten geplaatst; in de Kempenkuilen (73P1), in het ven nabij de Zwarte Heuvel (73P2), in het ven ten zuidoosten van de Drielingsvennen (73P3), in het ven in de Kambuusduinen (73P4), in de Putse Moer (74P1), in de Drielingsvennen (74P1), in de depressie ten oosten van de Wilgenduinen (74P3), in het Stappersven (74P5), in het ven ten westen van de Wilgenduinen (74P6) en in het ven in het Gemeentebos (74P7). Het meetpunt in het ven ten westen van de Wilgenduinen (74P6) verdween, vooraleer het kon genivellerd worden. Ook het voorziene meetpunt in het Van Ganzenven verdween tot tweemaal toe, vooraleer er terug water in het ven stond. Bijgevolg werd er van afgezien om daar een meetpunt te plaatsen.

De oppervlaktewaters waarin een peillat is aangebracht vertonen geen grote schommelingen. Ze reageren alle op bijna dezelfde wijze. Het ven in de Kambuusduinen is het hoogst gelegen; daarop volgt de Putse Moer. De hoogteligging van de vennen neemt af naar het noorden; het Stappersven is het laagste.

11.3. Hydro-isohypsen

Voor 4 tijdstippen van het jaar werden hydro-isohypsenkaarten van de freatische laag A en de half-artesische laag B getekend, namelijk op 1 februari, 1 mei, 1 augustus en 1 november 1980. Uit de hydro-isohypsen leidt men de stromingsrichting af. De half-doorlatende laag B' bestaat uit een afwisseling van zeer diskontinu voorkomende doorlatende, half-doorlatende en ondoorlatende lagen. In de half-doorlatende gedeelten is de stroming hoofdzakelijk vertikaal. Bijgevolg verloopt de stroming er zeer onregelmatig en heeft het tekenen van een hydro-isohypsenkaart van de half-doorlatende laag B' weinig zin.

11.3.1. Hydro-isohypsen van de half-artesische laag B

Er blijkt weinig verschil te zijn in het verloop van de hydro-isohypsen van de 4 tijdstippen (fig. 11.1 tot 11.4).

De hydro-isohypsen beschrijven een boog in het studiegebied, zodat de stromingsrichting verandert van westelijke naar noordelijke richting : aan de noordrand is de stroming noordwaarts gericht, aan de westrand buigt de stromingsrichting af naar het westen.

De hydro-isohypsen verdichten geleidelijk naar het noordwesten toe. Belangrijk is de verdichting onder het Kriekelaren Wad, in de richting van het Groote Meer. Ten noorden van het Groote Meer wijken de hydro-isohypsen opnieuw uiteen. Die sterkere stroming wordt waarschijnlijk door de waterwinning op Nederlands grondgebied in de hand gewerkt.

11.3.2. De hydro-isohypsen van de freatische laag A

Van de freatische laag werden de hydro-isohypsen op 4 tijdstippen getekend (fig. 11.5 tot 11.8). De toestand verandert weinig. Alleen op het einde van de afvloeiperiode (1.11.80) is enig verschil te merken in het patroon van de hydro-isohypsen rond de duinen t.o.v. dat van het einde van de heropvullingsperiode; dit is het geval rond de Steertse Duinen de Boterbergen, de Vossenbergen en de Hazenduinen.

Op de hydro-isohypsenkaart merkt men een hoofdzakelijk noord-west-zuidoost gerichte waterscheidingskam, die loopt over de Steertse Duinen, de Kambuusduinen, de Vossenbergen en de Hazenduinen. Een tweede waterscheidingskam ligt op de duinen nabij de Boterbergen. De hydro-isohypsen volgen in grote trekken het reliëf.

In vergelijking met de hydro-isohypsen van de half-artesische laag vertonen die in de freatische laag een veel grilliger verloop. De stijghoogten nemen af naar het noorden toe. Ze blijven op alle plaatsen steeds groter dan deze van de half-artesische laag B.

Ten westen van de Steertse Heide is er een belangrijke stroming naar het Groote Meer. In die omgeving komt veel ondiepe klei voor. De oppervlakkige afwatering speelt hier een belangrijke rol in de stroming. Nabij het Groote Meer is evenwel geen uitgebreid afwateringsstelsel aanwezig en de waterstand is er eerder laag. Bijgevolg is het niet uitgesloten dat op Nederlands grondgebied de klei ontbreekt en het water er naar de diepe lagen wordt aangezogen door de waterwinning.

Aan de noordrand van het geklasseerd gebied verloopt de stroming in noordelijke richting. Hier komt bijna geen ondiepe klei voor; er is een uitgebreid grachtenstelsel aanwezig : afwatering en doorsijpeling naar de diepe lagen werken samen in op de stroming in de freatische laag.

De grachten in het geklasseerd gebied zelf beïnvloeden eveneens de freatische grondwaterstroming : de hydro-isohypsen vertonen er een duidelijke knik nabij de verbindingsgracht tussen de Putse Moer en de depressie ten oosten van de Wilgenduinen. Aan de oostrand van het gebied buigen de isohypsen af en verloopt de stroming in oostelijke richting. Dit is het gevolg van de verlaging van het reliëf en van een uitgebreid grachtensysteem.

De gesloten hydro-isohypsen rondom het Van Ganzenven vallen op. Hier komt geen ondiepe kleilaag voor; het water sijpelt er bijgevolg vertikaal door.

Gesloten hydro-isohypsen treft men ook aan rond de Drielingssvennen en gedeeltelijk rond de Nol. Dit is vooral te wijten aan het reliëf en drainage. Hier is immers wel ondiepe klei aanwezig.

Kwel doet zich voor ten oosten van de Wilgenduinen, waar de hydro-isohypsen het topografisch oppervlak bereiken (fig. 5.7 en 11.5).

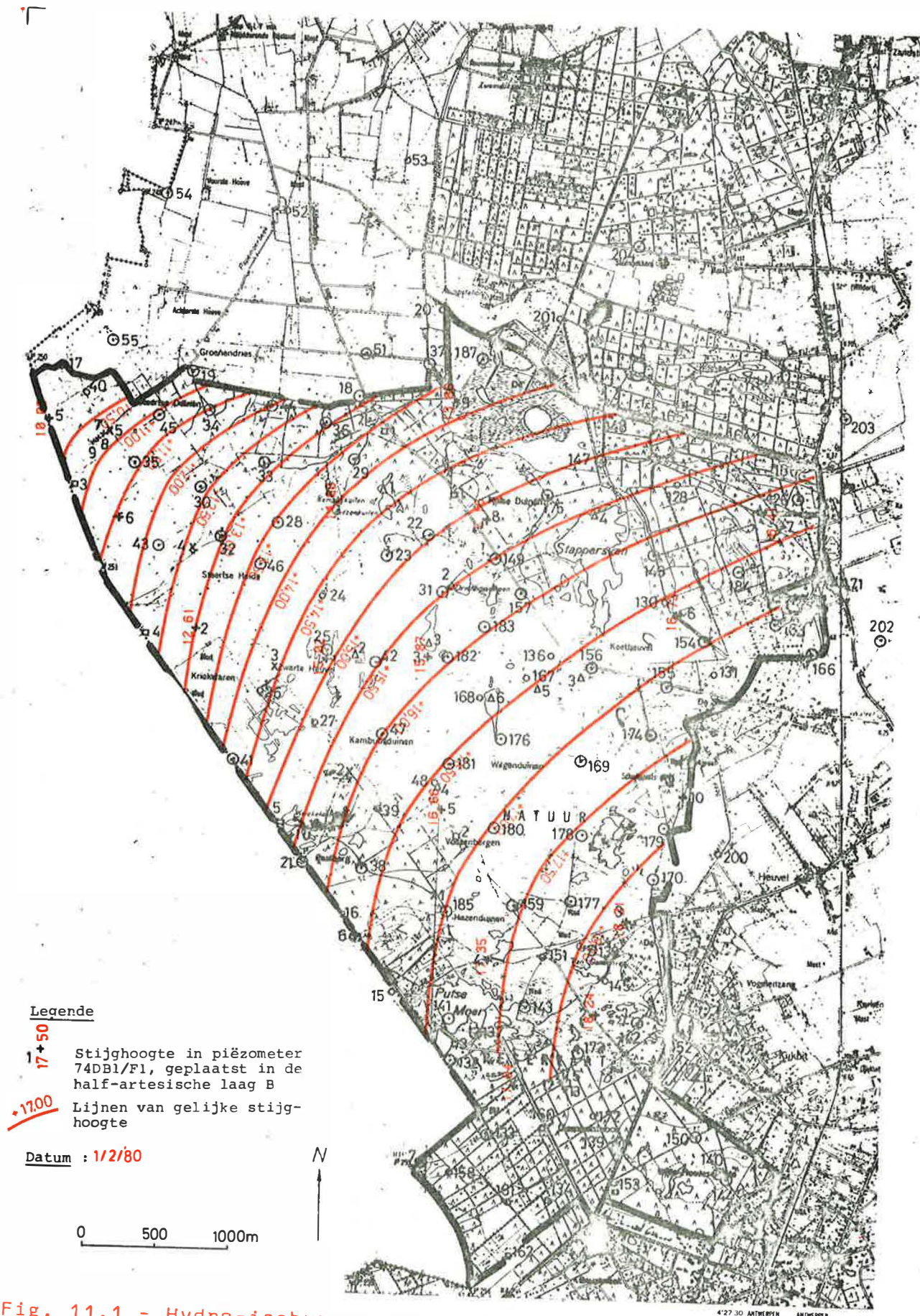
11.4. Schommelingen van de grondwatertafel

Van de periode van 1.12.79 tot 30.11.80 werd de grootst mogelijke stijghoogteschommeling in de freatische laag in kaart gebracht, dit is het verschil tussen de minimum en maximum stijghoogte in die periode (fig. 11.9).

Het centrale deel van het gebied ten oosten van de waterscheidingskam vertoont de grootste schommeling.

De stijghoogten in de duinen veranderen weinig.

Voor de afvloeiperiode april-mei 1980 werd de daling van de watertafel in cm/dag bepaald (fig. 11.10). Hieruit blijkt dat de grootste daling plaatsgrijpt ten oosten van het Groote Meer, in het noorden van het studiegebied, aan de noordrand van het geklasseerd gebied en langsheen de grachten.



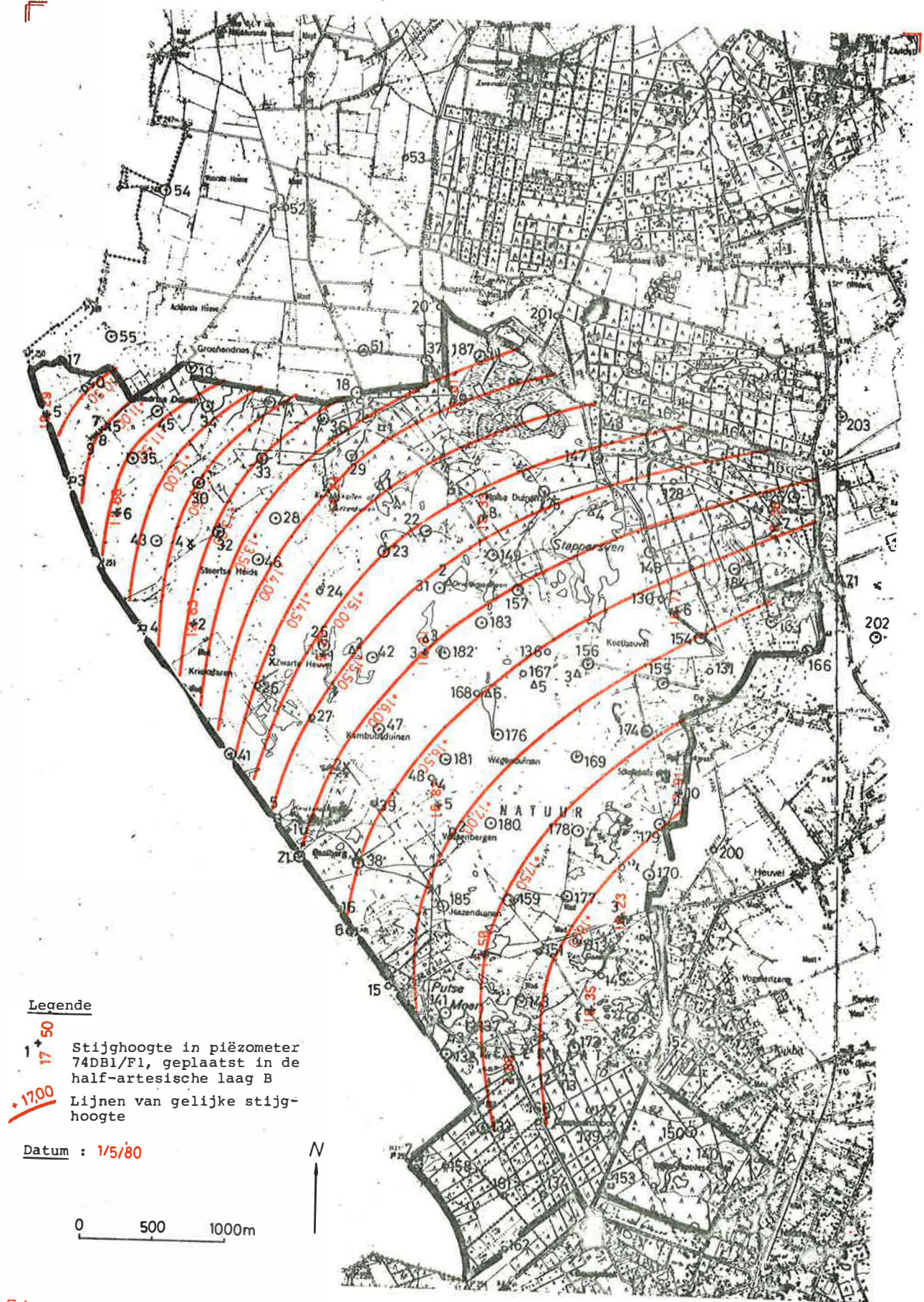
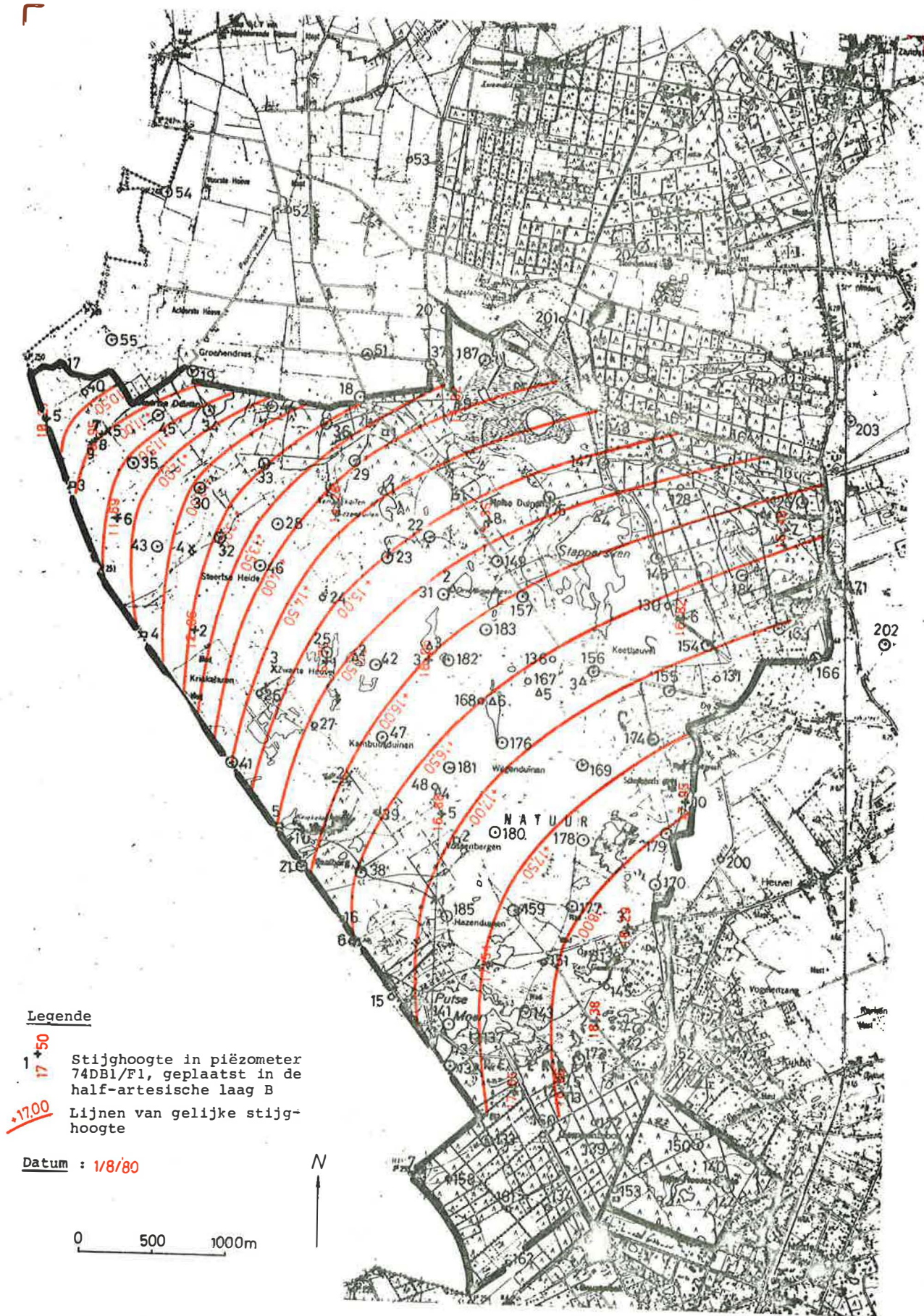


Fig. 11.2 - Hydro-isohypsen van de half-artesische laag B op 01.05.80



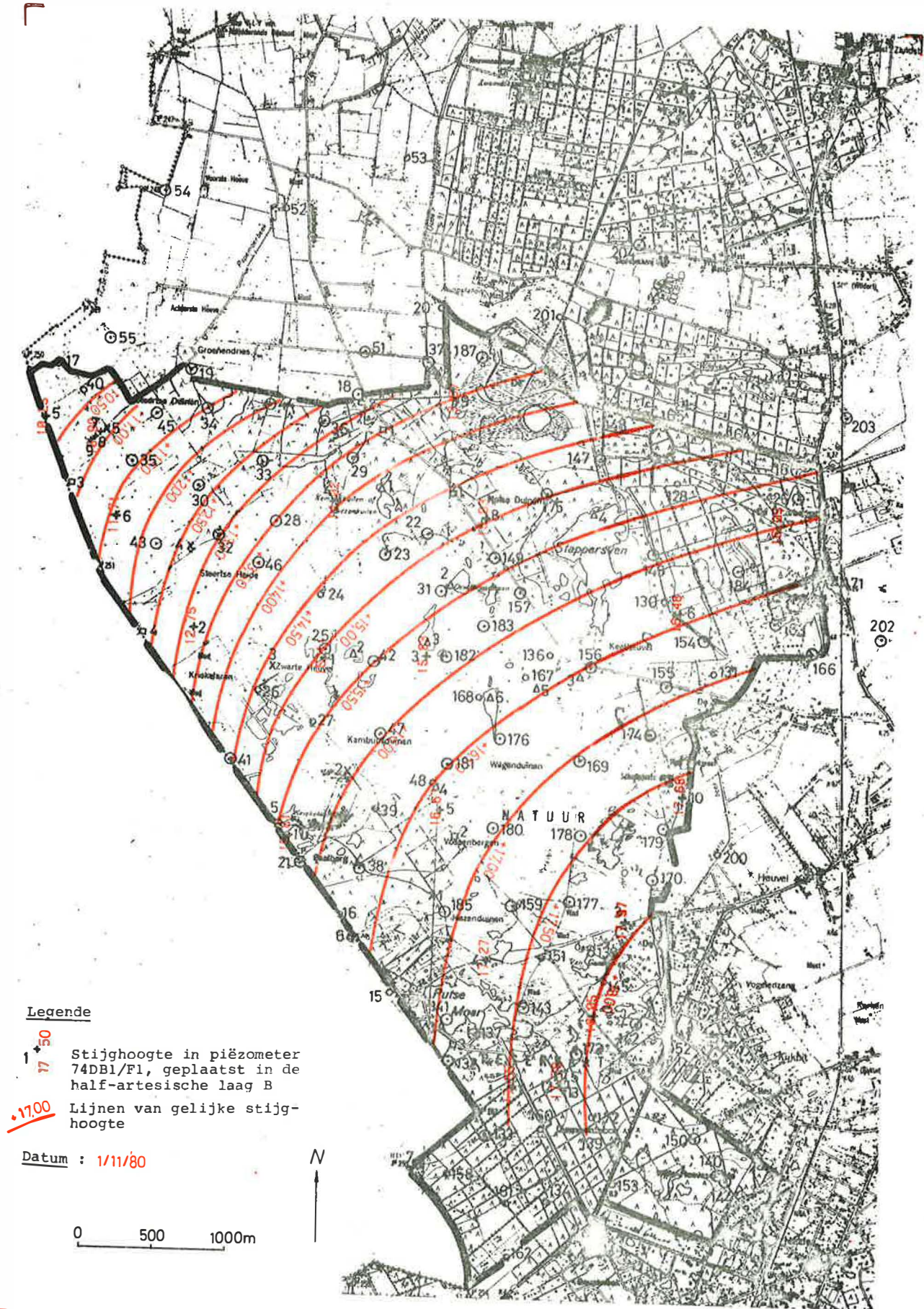


Fig. 11.4 - Hydro-isohypsen van de half-artesische laag B op 01.11.80

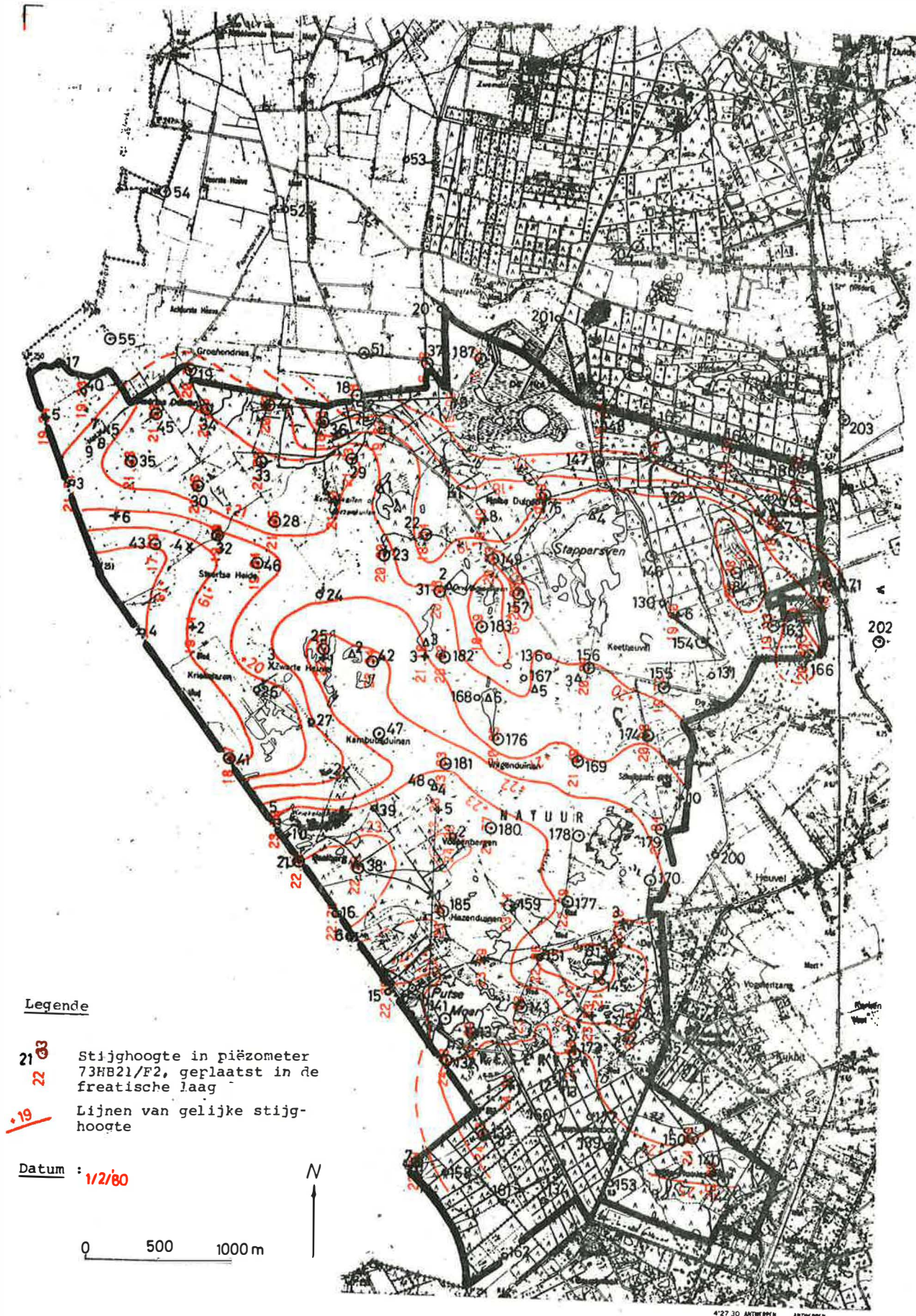


Fig. 11.5 - Hydro-isohypsen van de freatische laag op 01.02.80

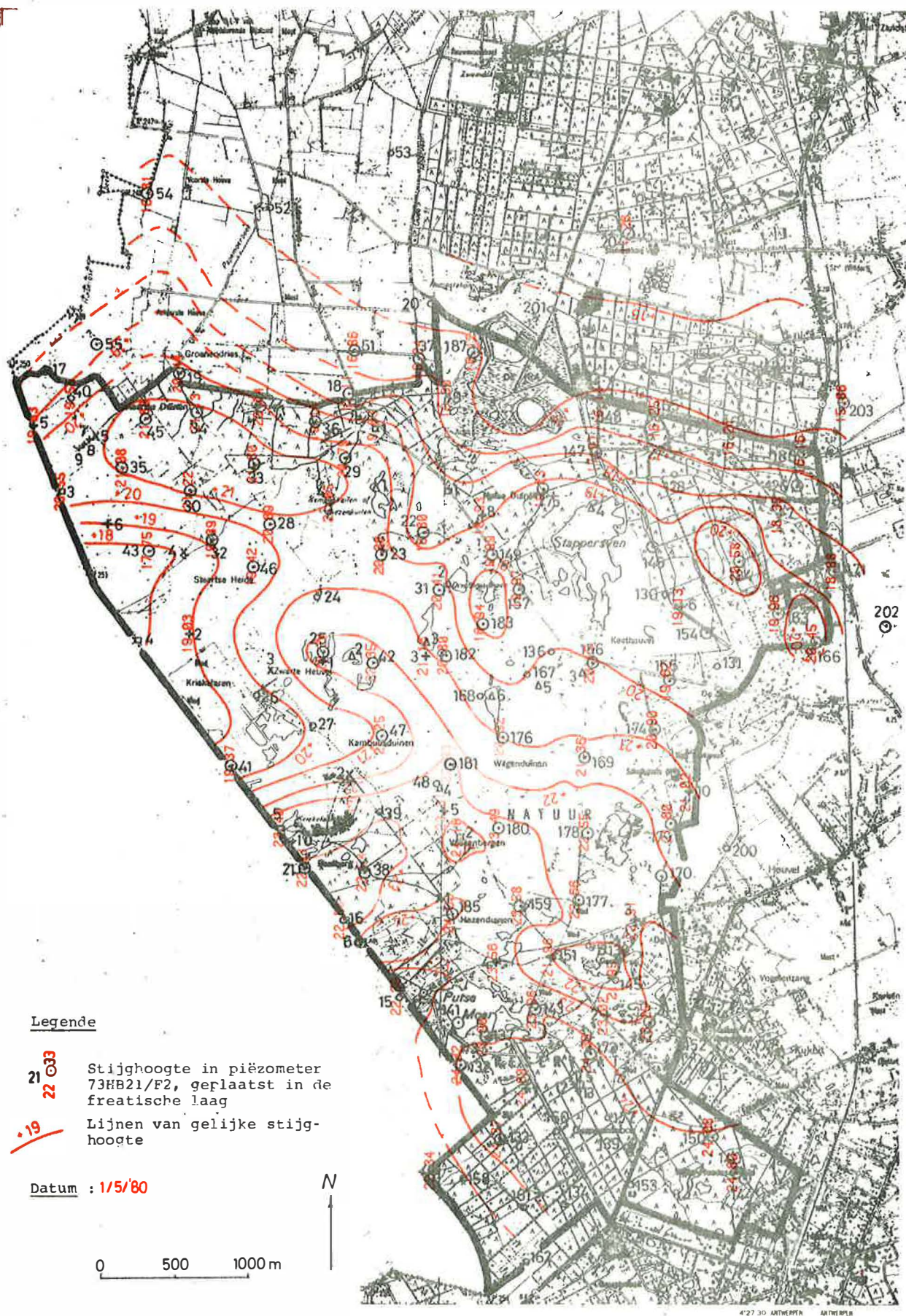
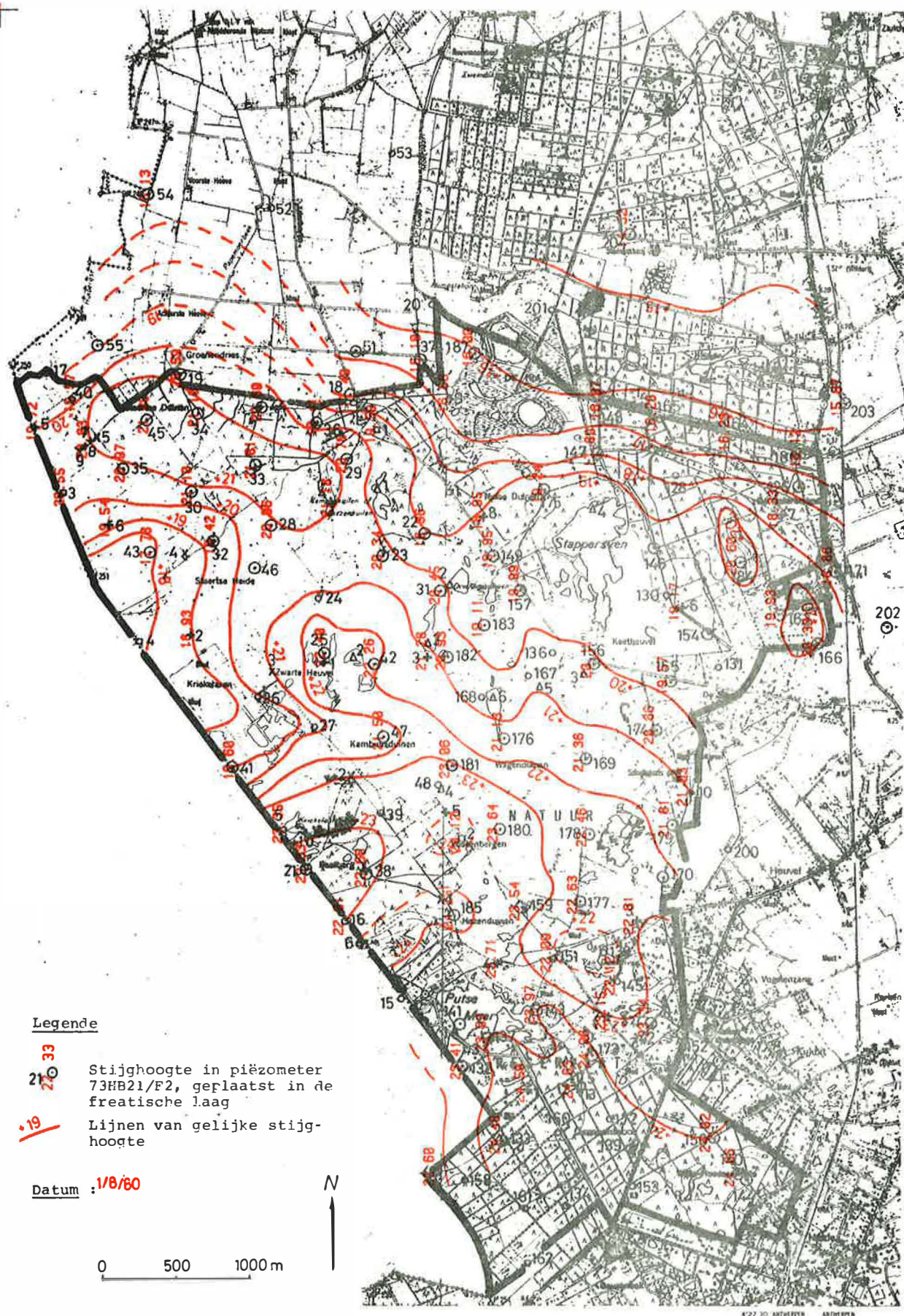


Fig. 11.6 - Hydro-isohypsen van de freatische laag op 01.05.80



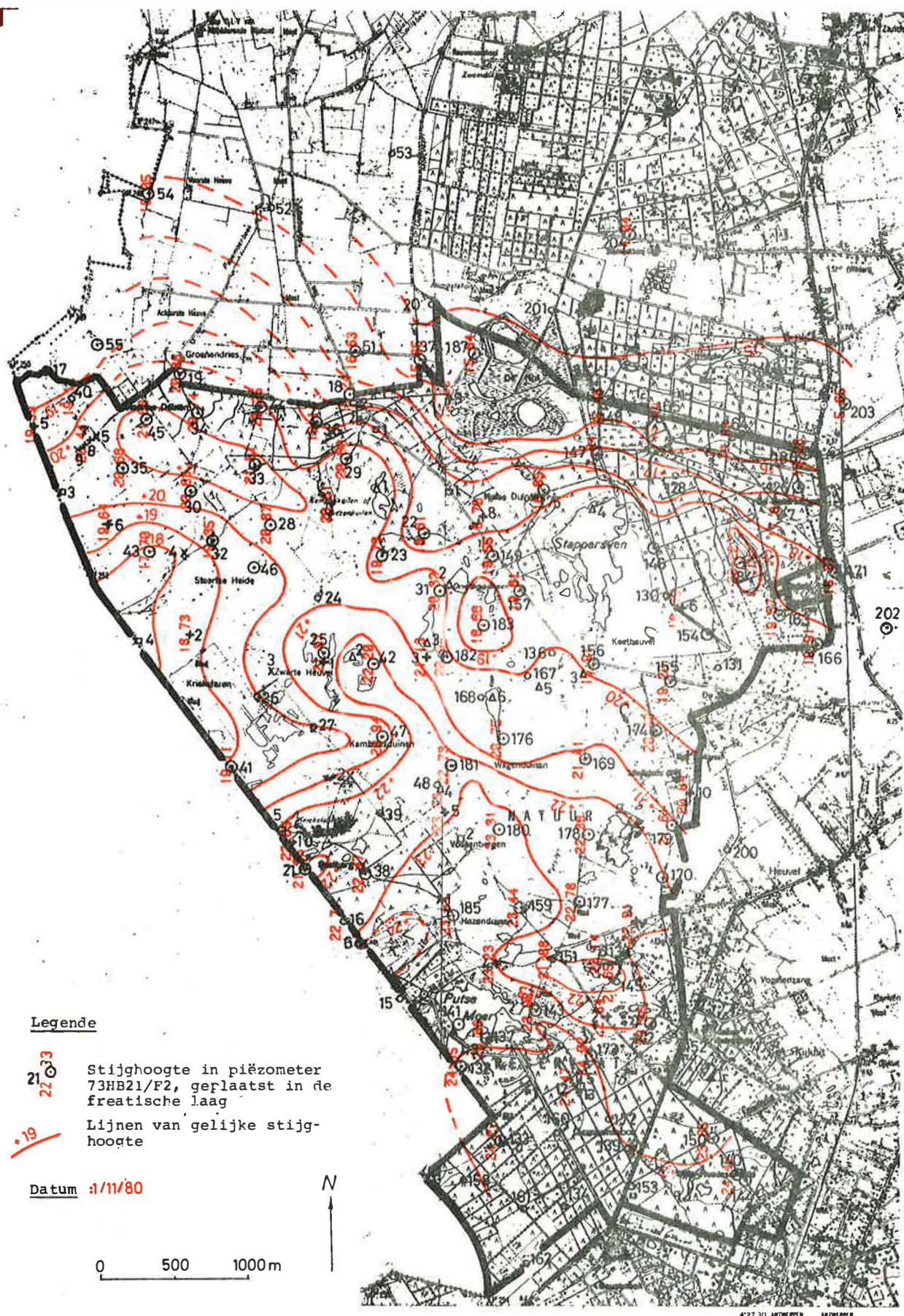


Fig. 11.8 - Hydro-isohypsen van de freatische laag
op 01.11.80

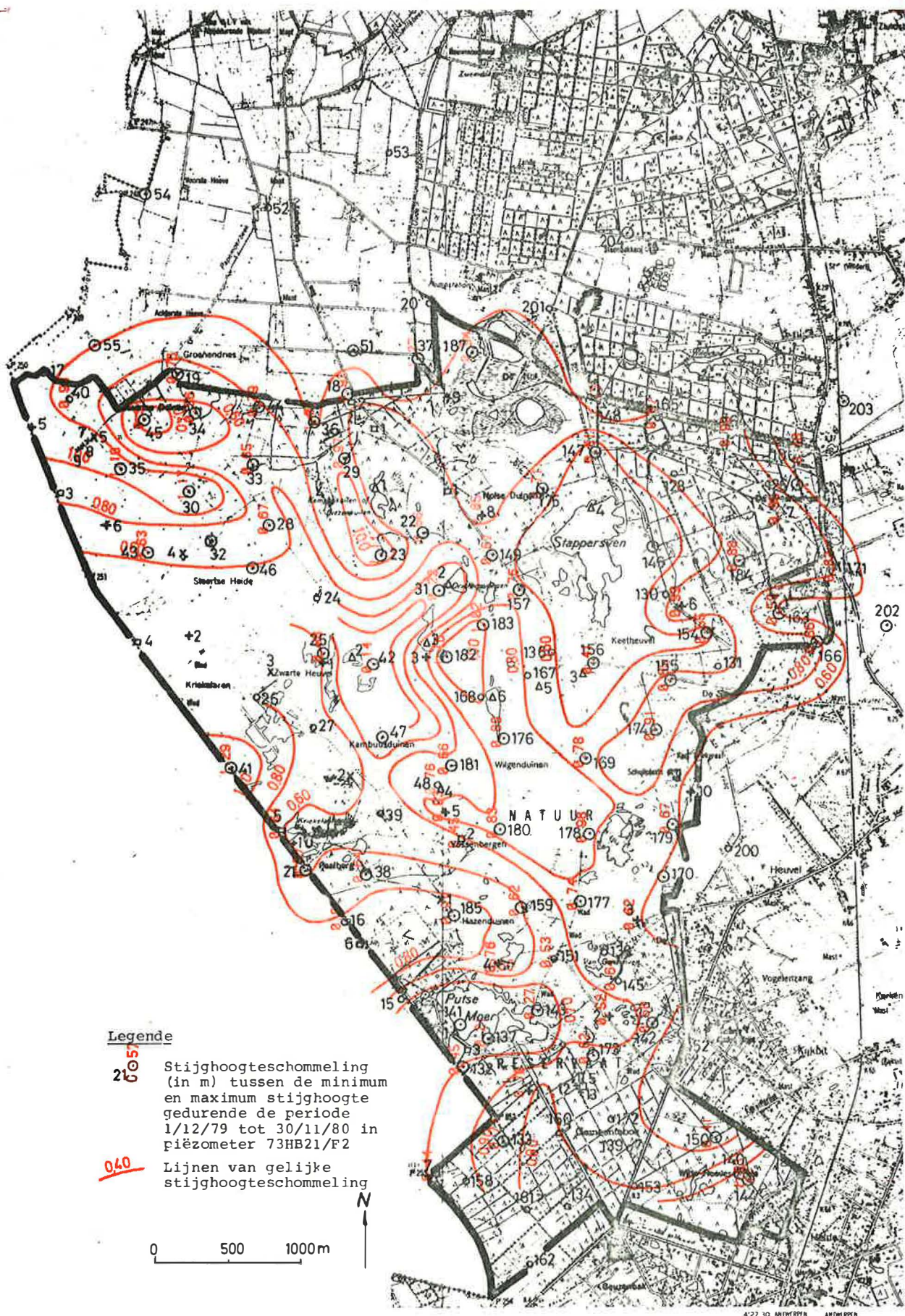


Fig. 11.9 - Lijnen van gelijke stijfhoogteschommeling tussen de minimum en maximum stijfhoogte gedurende de periode 01.12.79 tot 30.11.80 in de 'freatische laag

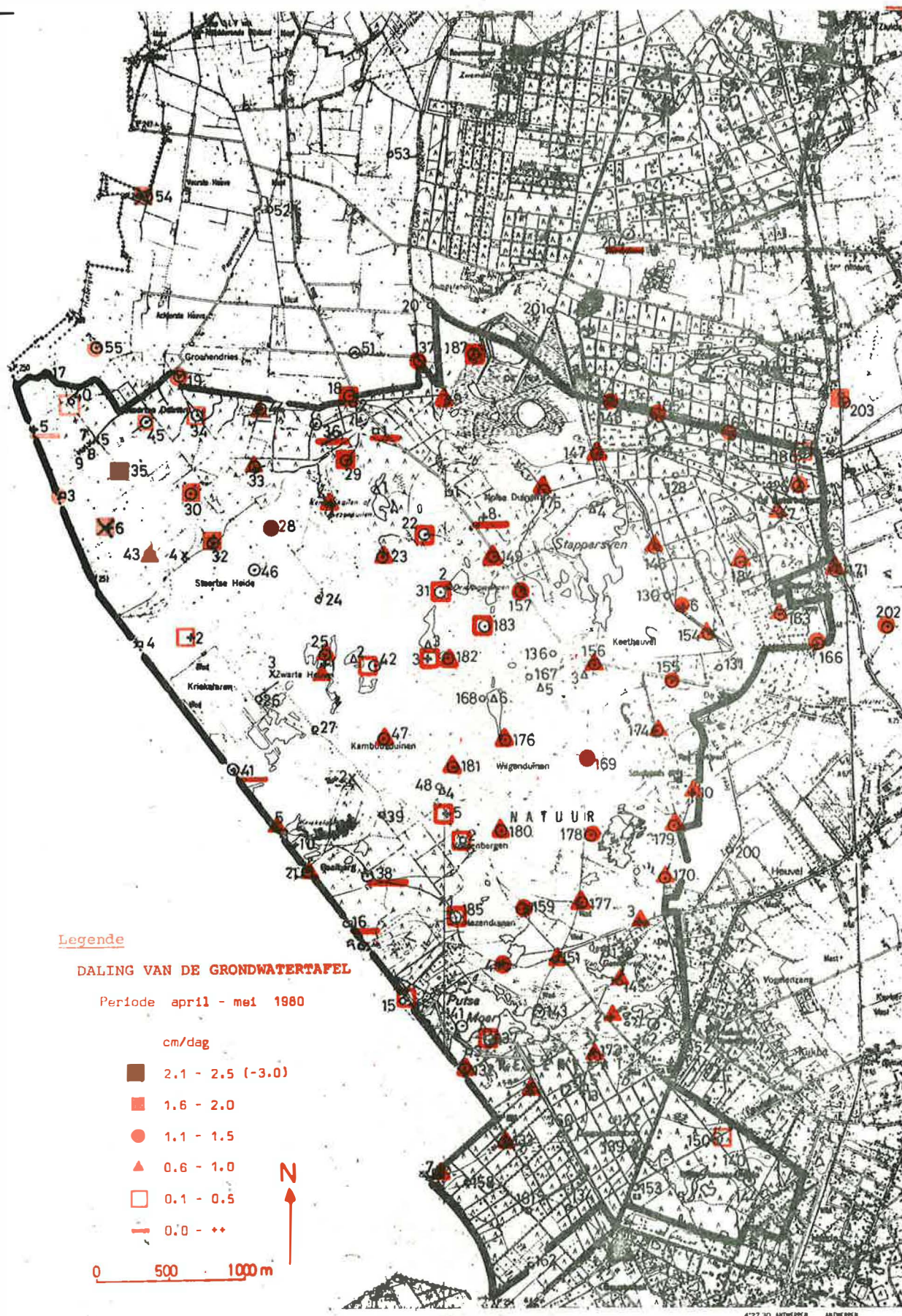


Fig. 11.10 - Daling van de grondwatertafel in cm/dag gedurende de periode april - mei 1980.

11.5. Besluit

Uit de stijghoogtewaarnemingen leidt men af dat in het reservaat enkele gebieden voorkomen waar de laterale en/of verticale afvloeï vanuit de freatische laag groot is. Hieruit volgt dat in die gebieden de grondwatertafel slechts bij een belangrijke aanvulling zal stijgen en dat de daling van de grondwatertafel er eerder zal optreden en steeds groter zal zijn dan in andere gebieden. Eventueel aanwezige grondwaterafhankelijke ecosystemen zijn er dan ook sterk beïnvloedbaar.

De oorzaak voor de sterke afvloeï uit de freatische laag kan zowel van natuurlijke als van kunstmatige aard zijn.

De afwezigheid van een ondiepe kleilaag is de belangrijkste natuurlijke oorzaak. Het ontbreken van een ondiepe kleilaag vergroot enerzijds de transmissiviteit van de freatische laag waardoor een grotere laterale afvloeï plaats heeft en verkleint anderzijds de hydraulische weerstand van de half-doorlatende laag B' waardoor een grotere afvloeï vanuit de freatische laag naar de half-artesische laag B gebeurt. Het noordwesten van het studiegebied, de noordrand van het geklasseerde gebied, het centrale deel van het geklasseerd gebied en de omgeving van het Van Ganzenven zijn hiervan voorbeelden. De verticale doorsijpeling van de freatische naar de half-artesische laag is bepaald door het stijghoogteverschil tussen beide lagen. Hieruit volgt dat deze gebieden dan ook het sterkst zullen worden beïnvloed door stijghoogtedalingen in de onderliggende half-artesische laag.

De belangrijkste oorzaken voor de afwijkende daling van de stijghoogte in de half-artesische laag kan de opeenvolging zijn van droge jaren en/of de wateronttrekking uit deze laag.

Eén van de oorzaken van kunstmatige aard voor de sterke afvloeï in de freatische laag is de afwatering door het grachtenstelsel. Een belangrijke drainage komt voor in de nabijheid van de grote gracht die het Stappersven met de Putse Moer verbindt, in de omgeving van de drainagegrachten rond het Stappersven, in het noordelijke gedeelte van het geklasseerde gebied en in het gebied ten oosten van het Groote Meer.

Een andere oorzaak van kunstmatige aard voor verhoogde afvloeï uit de freatische laag is zoals boven reeds vermeld, de daling van de stijghoogte in de half-artesische laag door grondwaterwinning hierin. De gebieden waar de half-doorlatende laag een kleine hydraulische weerstand vertoont, komen hiervoor het eerst in aanmerking gevolgd door de gebieden met een grote laterale afvloeï naar deze eerstgenoemde gebieden. Een duidelijk voorbeeld van het laatste geval is het gebied ten oosten van het Groote Meer.

Daar in het studiegebied vier belangrijke grondwaterwinningen voorkomen zullen we dan ook hun invloed bespreken aan de hand van de stijghoogtekonfiguratie en -schommelingen.

1. De waterwinning van de P.I.D.P.A. te Putte-Kapellen (in werking sinds 1957)

De P.I.D.P.A. pompt uit de half-artesische laag C. De hydro-isohypsen van die laag geven aan dat de waterstroming in westelijke richting gebeurt. In het onderzocht gebied verlopen deze evenwijdig op gelijke afstand van elkaar. Er is geen aanwijzing van een onnatuurlijke invloed. Daarenboven komen vrijwel overal ondiepe kleilagen voor zodat de aanvoer uit de freatische laag uiterst beperkt is. Ook in de freatische laag merkt men geen sterkere stroming.

Het pompstation blijkt het studiegebied dus weinig of niet te beïnvloeden.

2. De waterwinning van de N.V. Watermaatschappij Zeeland te Ossendrecht (in gebruik sinds 1928)

De hydro-isohypsen van de half-artesische laag vertonen een verdichting, waaruit men kan afleiden dat deze laag door het pompstation wordt beïnvloed. Ondiepe kleilagen belemmeren de doorsijpeling naar de diepte zodat de beïnvloede zone in de half-artesische laag zeer groot is.

Ook in de freatische laag is er eveneens een uitgesproken stroming in westelijke richting waar te nemen, mede door het voorkomen van weinig doorlatende kleilagen op Belgisch grondgebied. Men kan vermoeden dat de hydraulische weerstand van de half-doorlatende laag B op Nederlands grondgebied klein is. Het Groote Meer bevat immers weinig of geen water, wat kan worden toegeschreven aan de waterwinning. Daardoor wordt de afwatering in de freatische laag

op Belgisch grondgebied beïnvloed. Dit uit zich ook in de daling van de watertafel gedurende een vaste afvloeiperiode, die in dit gebied het sterkst is.

3. De waterwinning van de N.V. Watermaatschappij Zeeland te Huybergen

De grondwaterstroming in de half-artesische laag verloopt naar het pompstation toe. Ten opzichte van het zuiden van het studiegebied is er een lichte verdichting van de hydro-isohypsen waar te nemen.

De invloed in de freatische laag beperkt zich tot de zone ten noorden van de waterscheidingskam, die door de Steertse Duinen loopt. Bijgevolg is er enkel invloed mogelijk ten noorden van deze kam. In die smalle strook neemt men een sterke stroming waar; deze kan het gevolg zijn van de intense afwatering van de lager gelegen weilanden.

De invloed van dit station op het geklasseerd gebied lijkt dus eerder beperkt.

4. De waterwinning van de P.I.D.P.A. te Essen (sinds 1968)

De stroming in de half-artesische laag verloopt in noordelijke richting naar dit station. Men merkt geen duidelijke verdichting van de hydro-isohypsen. Dit kan te wijten zijn aan het feit dat de laag rechtstreeks gevoed wordt door de freatische laag, daar de klei er ontbreekt. Hierdoor ontstaat een groter verhang in de freatische laag.

Dit steiler verhang kan evenwel ook veroorzaakt zijn door de ontwatering langs het grachtenstelsel dat er zeer uitgebreid is.

De mate van invloed van deze waterwinning op het geklasseerd gebied is moeilijk te bepalen.

Uit het voorgaande is duidelijk gebleken dat stijghoogtemetingen van zeer groot praktisch belang zijn bij de studie van de evolutie van de vegetatie. Daarom is het ten eerste gewenst dat men ook in de toekomst de piëzometers zou blijven meten. Daar het waarschijnlijk niet mogelijk zal zijn om ze alle te blijven meten, kan men zich desgevallend beperken tot de volgende. De piëzometers in de half-doorlatende laag B' zijn van minder rechtstreeks nut, zoals

ook de piëzometers in de nabijheid van grachten of piëzometers die zeer dicht bij elkaar gelegen zijn.

Voor de half artesische laag C :

73DB8/F1, 74DB12/F1

Voor de half-artesische laag B :

73DB1/F1, -DB2/F1, -DB3/F1, DB4/F1, -DB5/F1, -DB6/F1, -DB8/F2, -DB10/F1 en 74DB1/F1, -DB2/F1, -DB3/F1, -DB4/F1, -DB5/F1, -DB6/F1, -DB7/F1, -DB8/F1, -DB9/F1, -DB10/F1, -DB12/F2.

Voor de freatische laag A :

73DB1/F4, -DB2/F2, -DB3/F3, -DB4/F3, -DB5/F3, -DB6/F3, -DB8/F4 en 74DB1/F2, -DB2/F2, -DB3/F3, -DB4/F3, -DB5/F2, -DB6/F3, -DB7/F2, -DB8/F3, -DB9/F4, -DB10/F4, -DB12/F4
73SB1/F2, -SB3/F2, -SB5/F2, -SB7/F2 en 74SB2/F2
73HB15, -16, -18/F2, -19/F2, -21/F2, -22/F2, -23/F2, -25/F2, -28/F2, -29/F2, -30/F2, -31/F2, -32/F2, -33/F2, -34/F2, -35/F2, -36/F2, -37/F2, -38/F2, -40, -41/F2, -42/F2, -43/F2, -44/F2, -45/F2, -46/F2, -47/F2, -54/F2 en 74HB132/F2, -133/F2, -137/F2, -138, -140/F2, -141/F2, -142/F2, -143/F2, -144/F2, -145, -147/F2, -149/F2, -150/F2, -151, -155/F2, -156/F2, -157/F2, -159/F2, -163/F2, -164, -165, -166/F2, -169/F2, -170/F2, -171/F2, -173/F2, -174/F2, -175/F2, -176/F2, -177/F2, -178/F2, -179/F3, -180/F2, -181/F2, -182/F2, -183/F2, -184/F2, -185/F2, -186/F2, -187/F2, -203/F2, -204/F2.

12. BFSLUIT

Door middel van talrijke boringen, een uitgebreid sedimentologisch onderzoek en pompproeven aangevuld door geofysische metingen, is aangetoond dat men boven de ondoorlatende Klei van Boom drie watervoerende lagen, gescheiden door twee half-doorlatende lagen kan onderscheiden.

De freatische laag A wordt gevormd door dek- en stuifzanden samen met eventueel voorkomend fijn zand van de Formatie van de Kempen, boven de eerste kleilaag. De dikte van de freatische laag schommelt sterk. Volgens berekeningen uit de granulometrische analyse bedraagt de permeabiliteit gemiddeld 9,2 m/d.

Onder de freatische laag A komt de half-doorlatende laag B' bestaande uit de kleiïge afzettingen in de Formatie van de Kempen die vooral in het bovenste gedeelte van deze formatie voorkomen. Deze formatie vertoont zowel lateraal als vertikaal grote faciëswisselingen. Een gedetailleerde bestudering van het laterale verloop van de klei liet toe een aantal gebieden aan te duiden waar er minder ondiepe klei voorkomt, zoals de omgeving van het Van Ganzenven, het centrale deel van de "Kalmthoutse Heide", ten noordwesten van de Kambusduinen en het noorden van het studiegebied. Wegens die snelle faciëswisselingen verschilt de hydraulische weerstand sterk van plaats tot plaats. In het zuiden van het gebied werd een waarde van 3300 dagen gevonden, in het noorden 500 dagen. In het zuiden zal een wateronttrekking aan de half-artesische laag C bijgevolg minder invloed uitoefenen op de freatische laag. Deze vaststelling geldt in strikte zin enkel voor de gebieden die door de pompproeven bestreken werden.

De half-artesische laag B wordt gevormd door de onderste fijn tot middelmatige zanden van de Formatie van de Kempen, de middelmatige tot grove zeer doorlatende zanden van de Formatie van Merksplas en het bovenste deel van de Formatie van Lillo. De dikte bedraagt circa 39 m in het zuiden en circa 55 m in het noorden. De transmissiviteit is begrepen tussen $690 \text{ m}^2/\text{dag}$ en $660 \text{ m}^2/\text{d}$ en de elastische bergingscoëfficiënt tussen $6,7 \times 10^{-4}$ en $7,1 \times 10^{-4}$.

De fijne klei- en leemboudende zanden van het onderste deel van de Formatie van Lillo vormen een tweede half-doorlatende laag, namelijk C' genoemd, met een hydraulische weerstand begrepen tussen 50 dagen en 10 dagen, dalend van zuid naar noord. De dikte gaat van 10 m in het zuiden tot 5,5 m in het noorden.

De onderste half-artesische laag C, boven de ondoorlatende Klei van Boom gelegen, bestaat uit de fijne tot middelmatige zanden van de Formatie van Kattendijk, de hoofdzakelijk middelmatige zanden van de Formatie van Diest en de fijnkorrelige afzettingen van de Formatie van Berchem. De dikte bedraagt 50 m in het zuiden en 62,5 m in het noorden. De transmissiviteit schommelt tussen $430\text{m}^2/\text{d}$ in het zuiden tot $1060\text{m}^2/\text{d}$ in het noorden en de elastische bergingskoëfficiënt tussen $5,4 \times 10^{-4}$ en $6,6 \times 10^{-4}$. Het water in deze laag is zoet water met een aardalkaligehalte van ca. 80 % van de kationen een bicarbonaatgehalte tot ca. 90 % van de anionen.

Door de stijghoogtewaarnemingen kunnen de stromingen in de verschillende watervoerende en half-doorlatende lagen bepaald worden.

De aanvulling van de freatische laag gebeurt bij wijze van infiltratie doorheen de bodem. Uit de waterbalans van de onverzadigde zone werden de voedingskoëfficiënten berekend voor een periode van twintig jaar, namelijk vanaf 1960 tot 1979. De opeenvolging van natte en droge jaren komt hier tot uiting. De gemiddelde waarde bedraagt 0,53. Er blijkt geen groot verschil te bestaan tussen de twee decennia. Opmerkelijk is wel het droge jaar 1976, waarvan de invloed duidelijk in de seizoenschommeling weerspiegeld wordt en die zelfs enige tijd aanhoudt. De afvloeit uit de freatische laag wordt hoofdzakelijk bepaald door de verticale stroming doorheen de half-doorlatende laag B' naar de half-artesische laag B. Dit is af te leiden uit het feit dat de stijghoogten in de freatische laag A op alle plaatsen steeds groter zijn dan in de onderliggende lagen. Een gedeelte van de afvloeit van de freatische laag gebeurt door drainage via een uitgebreid grachtenstelsel. Een belangrijke drainage komt voor in de nabijheid van de gracht die het Stappersven met de Putse Moer verbindt, in het noordelijk gedeelte van het studiegebied en in het gebied ten oosten van het Groote Meer.

In de half-doorlatende laag B' is de stroming hoofdzakelijk vertikaal van de freatische laag A naar de half-artesische laag B. Op plaatsen waar in de Formatie van de Kempen een geringe hoeveelheid klei voorkomt en de hydraulische weerstand dus verkleint kan deze verticale stroming belangrijke worden. Het noordwesten van het studiegebied, de noordrand van het geklasseerd gebied, het centrale deel van het geklasseerde gebied en de omgeving van het Van Ganzenven zijn hiervan voorbeelden. Op plaatsen waar zandige horizonten in de Formatie van de Kempen voorkomen, kan de horizontale component van de stroming in de half-doorlatende laag B' belangrijk worden. Deze vormt

een belangrijke bijdrage tot de waterhuishouding in deze laag.

Wegens de geringe hydraulische weerstand van de half-doorlatende laag C' (Formatie van Lillo) die op de plaatsen van de pompproeven gevonden werden, met als gevolg het gering stijghoogteverschil tussen de half-artesische laag B en de half-artesische laag C, worden deze lagen als één geheel behandeld.

In de half-artesische laag B-C gebeurt de aanvoer door vertikale stroming vanuit de freatische laag A doorheen de half-doorlatende laag B'. Uit de hydro isohypsen leiden we een laterale aanvoer vanuit het zuidoosten af. De laterale afvoer gebeurt naar het noorden en het westen in de richting van grondwaterwinningen. Stijghoogteverlagingen in de half-artesische laag zullen ook in de freatische laag hun weerslag hebben, in de eerste plaats in die gebieden waar de half-doorlatende laag B' een kleine hydraulische weerstand vertoont evenals gebieden met een grote laterale afvloeï naar eerstgenoemde gebieden. Een duidelijk voorbeeld van het laatste geval is het gebied ten oosten van het Groote Meer. In dit gebied treedt trouwens een verdichting op in de hydro-isohypsen van de half-artesische laag, in de richting van de waterwinning te Ossendrecht.

Er vindt geen vertikale afvoer plaats doorheen de Boomse Klei.

Tot slot menen we dat in verband met de oppervlakkige afvloeï aan een betere beheersing van het grachtenstelsel moet gedacht worden, vooral aan de noordrand van het geklasseerd gebied, niettegenstaande deze reeds zeer degelijk verricht wordt. Indien een uitbreiding van de waterwinningen overwogen wordt, raden wij aan eerst een omvangrijker onderzoek te verrichten waarbij een regionale grondwaterbalans voor het gebied opgesteld wordt. Met de gegevens, die in het bestek van deze studie verzameld werden, en de uitbating van piëzometrisch net is het evenwel mogelijk in de toekomst, via een mathematisch model een balans van het gebied op te stellen, voor iedere mogelijke toestand. Het is dan ook belangrijk de metingen op enkele putten verder te verrichten, zij het maar dat dit ook als controle kan dienst doen.

BIBLIOGRAFIE

- CNUUDE, J.P. (1978). Hydrogeologische studie van het plassen-gebied van Mol. Gent : Geologisch Instituut - Rijks-universiteit (rapport) p. 36.
- DEACON, F.L. (1969). Physical processes near the surface of the earth in World Survey of Climatology. (Ed. H.E. LANDS-BERG) , Vol. 2 (Ed. H. FLOHN) , p. 39 - 104
- DE BREUCK, W. (1972). Hydrogeologie. Gent : Geologisch Instituut - Rijksuniversiteit.
- DE CONINCK, F. (1958). Verklarende tekst bij het kaartblad Kalmthout 6E (Bodemkaart van België), 77 p. Gent : Centrum voor Bodemkartering.
- DE CONINCK, F. & SNACKEN, F. (1961). Verklarende tekst bij het kaartblad Kalmthoutse Hoek 6W (Bodemkaart van België) 59 p. Gent : Centrum voor Bodemkartering.
- DE MEUTER, F. & LAGA, P. (1976). Lithostratigraphy and biostratigraphy based on benthonic Foraminifera of the Neogene deposits of Northern Belgium. Bull. Belg. Ver. Geol. 85, 133-152.
- DE MOOR, G. & DE BREUCK, W. (1969). De freatische waters in het oostelijke Kustgebied en in de Vlaamse vallei. Nat. Wet. Tijdschr. 51, 3 - 38.
- DE PLOEY, J. (1961). Morfologie en Kwartair-stratigrafie van de Antwerpse Noorderkempen. Acta Geogr. Lovan. 1, 126 p.
- DE RIDDER, N.A. & WIT, K.E. (1965). A comparative study on the hydraulic conductivity of unconsolidated sediments, J. Hydrol. 3, 180 - 206.
- FOLK, R.L. & WARD, W.C. (1957). Brazas River Bar : A study in the significance of grain-size parameters. J. Sed. Petrol. 27, 3 - 26.
- GEYS, J. & DE LANNOY, W. (1972). Litologische onderzoek van het Onder-Pleistoceen te Wildert-Essen (Antwerpse Noorderkempen). Natuurwet. Tijdschr. 54, 48-58.

- GEYS, J. (1975). De sedimentologie en de morfogenetische betekenis van de Oudpleistocene afzettingen in de Antwerpse Noorderkempen, 230 p. Gent : Faculteit Wetenschappen - Rijksuniversiteit (Doctoraatsthesis).
- GRIFFITHS, J.F. (1976). Climate and the environment. The atmospheric impact on man. London : Environmental studies, 148 p.
- GULINCK, M. (1962). Essai d'une Carte géologique de la Campine. Etat de nos connaissances sur la nature des terrains néogènes recoupés par sondages, Mèm. Soc. belge Géol. Paléont. Hydrol. 6, 30 - 39.
- GULINCK, M. (1966). Hydrogeologie. In : Atlas van België - Platen 16 A en 16B, p. 24 - 29. Brussel : Nationaal Comité voor Geografie.
- GULLINCK, M. (1969). Le sondage de Kallo. I. Coupe résumée des terrains traversés au sondage de Kallo et profil géologique NS passant par Woensdrecht-Kallo-Halle. Toelicht. Verh. Geol. Mijnk. Belg. 11, 1 - 7.
- KRUSEMAN, G.P. & DE RIDDER, N.A. (1970). Analysis and evaluation of pumping test data. ILRI Bulletin 11, 3rd ed. 200 p.
- LEBBE, L. (1978). Hydrogeologie van het duingebied ten westen van De Panne, 164 p. Gent : Geologisch Instituut - Rijksuniversiteit (Doctoraatsthesis).
- LEBBE, L. (1979). Hydrogeologische studie van het blak in de streek van Beerse-Rijkevorsel-Merksplas. Gent : Geologisch Instituut - Rijksuniversiteit (rapport)
- LEBBE, L. (1981). A mathematical model of the unsteady state flow to a pumped well in a multilayered groundwater reservoir and some considerations about the travel time. Journal of Hydrology (in druk).
- LEGRAND, R. (1968). Le Massif du Brabant. Toelicht. Verh. Geol. Mijnskaart Belg. 9, 148 p.
- LEKAHENA, E.G. & SMOOR, P.B. (1970). Toelichtingen bij de kaartbladen 49 Oost Bergen op Zoom en 50 West Breda. Grondwaterkaart van Nederland 39 p.

- MIJS, M. (1973). De geomorfologische ontwikkeling van de Noorderkempen en de Scheldepolders. Nation. Centr. Geomorfol. Onderz. Werkst. 13(2), A1-A56, C1-182.
- MIJS, M. (1974). Bijdrage tot de Geomorfologie van het duinlandschap van de Kalmthoutse Heide. Dienst Domaniale Natuurreservaten en Natuurbescherming, Werken, 7, 88 p.
- PENMAN, H.L. (1952). The physical bases of irrigation control. Proc. 13 th Int. Horticult. Congr. London, 2, 913 - 924.
- SCHOOFS, J. (1972). Bijdrage tot de hydrologische studie van de grensstreek ten noorden van Antwerpen, 173 p. Gent : Rijksuniversiteit (Verh. Burgerlijk Bouwkundig Ingenieur).
- THORNTON, C.W. & MATHER, J.R. (1957). Instructions and tables for computing potential evapotranspiration and the water balance. Publications in Climatology , Vol.10 nummer 3 , p. 311.
- VAN DYCK, E. (1979). Hydrogeologisch onderzoek van de freatische waterlaag te Kalmthout. p. 95 Gent : Geologisch Instituut - Rijksuniversiteit (Verh. Lic. Aard- en Delfstofkunde).

DANKWOORD

Deze studie kwam tot stand dank zij de steun van de Minister van de Vlaamse Gemeenschap.

De stuwende kracht voor het aanvatten ervan is vooral uitgegaan van de Direktie van het Mijnwezen van het Ministerie van Economische Zaken, en meer bepaald van de ir. A. DENTENEER, Hoofdingenieur-Direkteur.

De samenwerking met de opdrachtgever, de Interkommunale Grondbeleid en Expansie Antwerpen en zijn vertegenwoordigers Directeur-Zaakvoerder F.J. VAN SANTVLIET en Ing. N. VAN DEN BROEK, alsook met de andere opdrachtnemers, Prof. Dr. R.F. VERHEYEN en lic. G. DE BLUST van het Departement Biologie van de U.I.A. en Prof. Dr. ir. M. DE BOODT en Dr. ir. R. HARTMANN van de Leerstoel voor Bodemfysica van de R.U.G., is op uitstekende en hartelijke wijze verlopen.

In de loop van de studie hebben we vanwege talrijke instanties en personen bereidwillige hulp en informatie ontvangen; in de eerste plaats denken we hier aan ir. W. VANDENBROUCKE en brig. chef. J. VAN GOMPEL van Waters en Bossen, aan ir. M. BRUYNDONCX, directeur van de Technische Diensten van de P.I.D.P.A. en alle leden van de Stuurgroep, die ons moreel en soms ook materieel hebben bijgestaan. De klimatologische gegevens danken we aan de Klimatologische Dienst van de "Regie der Luchtwegen" te Zaventem en aan het Weerkundig Station te Antwerpen-Deurne.

De eigenaars of verantwoordelijken van de terreinen hebben bijgedragen tot het vlotte verloop van de werkzaamheden.

De ganse wetenschappelijk staf van de Leerstoel voor Toegepaste Geologie is bij de studie betrokken geweest, in het bijzonder lic. P. VAN BURM bij de interpretatie van de litologie, Dr. L. WALSCHOT, conservator, bij de voorstelling van tekst en figuren en Ing. J. VANDENHEEDE bij de berekeningen met de tafelrekenmachine. Alle personeel van het Geologisch Instituut is hetzij bij het terreinwerk, hetzij bij het laboratoriumwerk, hetzij bij de afwerking, het teken- en tikwerk ingeschakeld geweest. Bij het veldwerk is ook beroep gedaan op de kennis en de hulp van F. D'HAEYER, hoofdtechnicus bij de Dienst voor Geologie van het Rijksuniversitair Centrum te Antwerpen.

Aan al deze personen en ook de velen, die hier niet vernoemd zijn en die tot de studie hebben bijgedragen, onze welgemeende dank.